

施氮量对不同基因型水稻品种氮素吸收利用的影响

宋智勇 吕凯 罗凤 练兴明

华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室, 武汉 430070

摘要 以10份干物质生产效率不同的水稻品种为材料,用土培盆栽试验研究4种不同施氮水平对水稻植株干物质积累量、氮素积累量和干物质生产效率的影响。结果表明:施氮提高了水稻干物质和氮素的积累,但不同基因型水稻品种对施氮的响应程度不同。随施氮水平的提高,不同基因型水稻植株氮含量、氮素积累量以及干物质积累量显著上升,但氮素干物质生产效率明显下降。植株氮素积累量与植株氮含量、干物质积累量呈极显著正相关,植株氮素干物质生产效率与植株氮含量、氮素积累量呈极显著负相关。种植不同基因型水稻品种的土壤氮素表现平衡间存在显著差异,此差异随施氮水平提高而更加明显。

关键词 水稻; 施氮量; 氮素积累量; 氮素干物质生产效率

中图分类号 S 143.1; S 511.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2012)02-0165-06

氮是作物生长发育必需的矿质营养元素中需求量最大的元素,是作物体内蛋白质、核酸和叶绿素的重要组成成分。水稻的氮素营养遗传学研究表明,施氮的效应与水稻基因型密切相关^[1]。关于施氮量对水稻干物质生产和产量形成的影响,近年来已有大量报道^[2-6]。水稻产量的形成过程,其实质是干物质生产、分配、运转的过程。水稻营养生长阶段的干物质积累是后期产量形成的重要基础^[7-8]。氮磷钾施肥对水稻成熟期植株干物质积累与分配具有明显影响^[9]。不同肥料配施对水稻不同器官 N、P、K 吸收分配影响的趋势既存在共性也存在差异性,通过调整施肥可以改善养分在不同器官的分配,促进养分的吸收和良性循环,从而达到水稻优质高效生产的目的^[10]。同时,供给复合氮源可在不影响水稻生长的条件下,降低植株氮损失,提高其氮肥利用率^[11]。氮素干物质生产效率和氮素稻谷生产效率是评价水稻氮素利用率的两个重要指标,提高水稻干物质生产效率,可以控制氮肥施用量和减轻施用氮肥所带来的环境污染,同时,提高氮素的干物质生产效率或稻谷生产效率也有利于单产的提高^[12]。随着施氮量增加,氮肥吸收利用效率、氮素收获指数、氮肥农学利用率等均呈下降趋势^[13-14]。魏海艳等^[15]研究认为,不同氮效率类型水稻其氮素的积累

与转移存在鲜明的差异,是导致各类型水稻氮素利用效率产生差异的重要原因之一,增强水稻抽穗以后的氮素积累能力对于提高水稻的氮素利用效率具有重要作用。刘立军等^[14]、叶全宝等^[16]的研究表明,水稻大田生长在现有施氮量的基础上,降低30%~37%左右的施氮量,仍可获得甚至超过现有的产量水平,同时水稻的氮肥吸收利用效率会大大提高,既减少了氮肥施用量,也减轻了因氮素残留而对环境的污染。

已有的研究^[17-21]主要明确了水稻品种间在氮素积累量、氮素干物质生产效率和氮素籽粒生产效率上均存在很大差异,并对成熟期氮素积累量和氮素籽粒生产效率与水稻产量的关系作了分析^[20-25]。上述研究反映了不同基因型水稻在大田条件下的氮肥吸收、利用效率,但是,在固定供氮量的条件下,不同基因型材料氮素积累、干物质积累、氮素干物质生产效率之间的关系相关研究较少。

本研究以2009年田间筛选获得的10份干物质生产效率不同的水稻品种为材料,通过土培盆栽试验,设置4种不同氮肥处理,在抽穗期取样,测定植株氮含量、干物质积累量,分析在相同氮肥供应量的条件下,不同基因型水稻材料的氮素干物质积累效率差异。以便为水稻氮营养高效育种及氮素

收稿日期: 2011-03-21

基金项目: 国家“863”项目(2010AA101802)和国家重点基础研究发展计划(2011CB100304)

宋智勇, 硕士研究生, 研究方向: 水稻营养分子生物学, E-mail: hnsongzhiyong@163.com

通讯作者: 练兴明, 博士, 副教授, 研究方向: 水稻氮、磷营养高效, E-mail: xmlian@mail.hzau.edu.cn

高效吸收利用相关基因的定位、克隆提供基础材料。

1 材料与方法

1.1 供试材料和土壤

依据 2009 年田间试验对 204 份水稻品种在不

表 1 供试水稻品种种质类型及来源

Table 1 The type and source of germplasm of rice

品种 Varieties	类型 Type	来源 Source	品种 Varieties	类型 Type	来源 Source
矮脚南特 Aijiaonante	籼稻 Indica	广东 Guangdong	红矮糯 Hongainuo	籼稻 Indica	广西 Guangxi
粳 7623 Geng 7623	粳稻 Japonica	上海 Shanghai	乌壳占 Wukezhan	籼稻 Indica	福建 Fujian
湘早粳 7 号 Xiangzaoxian7	籼稻 Indica	湖南 Hunan	红米三担 Hongmisandan	籼稻 Indica	江西 Jiangxi
黑粳 2 号 Heigeng2	粳稻 Japonica	黑龙江 Heilongjiang	鱼眼糯 Yuyannuo	粳稻 Japonica	云南 Yunnan
南雄早油 Nanxiongzaoyou	籼稻 Indica	广东 Guangdong	一枝香 Yizhixiang	籼稻 Indica	福建 Fujian

供试土壤为采集的黄棕壤,其基本理化性质为:有机质 2.49 g/kg,全氮 327 mg/kg,全磷 110 mg/kg,碱解氮 49.53 mg/kg,有效磷 1.89 mg/kg,速效钾 140 mg/kg,pH 6.5。

1.2 土培试验

试验于 2010 年在华中农业大学盆栽场进行,上面有挡雨棚,避免过多雨水造成肥料流失。试验中先将土样风干、粉碎、混匀,然后称取 11.8 kg 土样装入塑料桶中,加水浸泡 2 d。试验依据 2009 年大田筛选时施肥情况,设置 4 种不同水平的氮素处理,N、1/2N、1/4N、1/6N 分别表示每桶中施加 2.0、1.0、0.5、0.33 g 尿素,其中 N 为正常施氮水平,1/2N 为中氮水平,1/4N、1/6N 为低氮水平。所有外施氮肥均分为 2 次施加,移栽前施入 50% 氮肥,水稻生长至分蘖盛期再施入 50% 氮肥。试验中钾、磷肥施用量分别为每桶施加 1.2 g (约合 0.72 g K₂O) 和 3.8 g (合 0.456 g P₂O₅),磷、钾肥在移栽前一次性施入土壤中。每个处理设有 5 个重复。水稻种子浸种 3 d 后,37 °C 催芽,播在湿润的沙子中,待幼苗长到 3 叶 1 心时移栽到小桶中,每桶移栽 4 棵苗,生长至抽穗期时收获植株地上部。

1.3 样品测定

1) 植物样品干物质质量。样品收获后立即在烘箱中 105 °C 杀青处理 30 min,然后于 60 °C 烘干至质量恒定,计算抽穗期地上部干物质质量。

2) 样品全氮含量测定。将烘干后的植物样品用微型植物粉碎机碾磨并过 0.150 mm 筛。称取 0.2 g 左右的植物样品,利用 C、N 元素分析仪(德国 ELEMENTAR 元素分析系统公司 Vario Max CN

同施氮水平下干物质积累量的研究结果,从中筛选出 10 份干物质(表 1)生产效率不同的水稻材料作为供试对象,其中干物质生产效率较高的品种 5 份(鱼眼糯、红矮糯、乌壳占、红米三担、一枝香),干物质生产效率较低品种 5 份(矮脚南特、粳 7623、湘早粳 7 号、黑粳 2 号、南雄早油)。

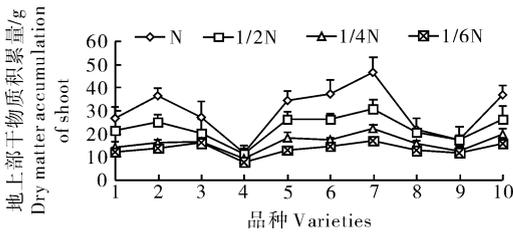
元素分析仪)测定植株抽穗期地上部全氮含量,常规分析方法。

3) 氮素吸收与利用计算方法。氮素积累量(nitrogen accumulation, NA) = 植株含氮量 × 植株干物质质量;氮素干物质生产效率(nitrogen dry matter production efficiency, NDMPE) = 单位面积植株干物质/单位面积植株氮素积累总量;土壤氮素表观平衡 = 施氮量 - 植株氮素积累量^[26];土壤氮素表观残留率 = (施氮量 - 植株氮素积累量)/施氮量^[26]。采用 Microsoft Excel 和 Statistix 8.0 软件进行数据处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 施氮量对不同基因型水稻干物质积累量的影响

由图 1 可见,同一基因型的不同施氮处理之间以及相同施氮处理的不同基因型之间其干物质积累量均存在极显著差异。在正常供氮条件下,水稻干物质积累量最大的是乌壳占品种,达 46.7 g,最小的是黑粳 2 号品种,仅 11.78 g。1/2N 处理下,各品种干物质积累量较正常供氮(N)处理下降 1.87%~37.40%,下降幅度最大的是粳 7623 品种,最小的是黑粳 2 号品种。当施氮水平为 1/4N 时,除黑粳 2 号和红米三担外,大多数水稻品种干物质积累量只有正常供氮水平时的一半左右。当施氮水平为 1/6N 时,各品种干物质积累量较正常供氮下降了 31.6%~63.3%,下降幅度最大的是乌壳占,最小的是鱼眼糯。低氮胁迫处理对不同基因型品种干物质积累的影响不同,在正常施氮下生长量越大的品种,在低氮处理后其干物质积累量的下降幅度也越大。



1. 矮脚南特 Aijiaonante; 2. 粳 7623 Geng7623; 3. 湘早籼 7 号 Xiangzaoxian7; 4. 黑粳 2 号 Heigeng2; 5. 南雄早油 Nanxiangzaoyou; 6. 红矮糯 Hongainuo; 7. 乌壳占 Wukezhan; 8. 红米三担 Hongmisandan; 9. 鱼眼糯 Yuyannuo; 10. 一枝香 Yizhixiang. 下同。The same as follows.

图 1 不同氮水平下水稻地上部干物质积累量的基因型差异

Fig. 1 Genotypic variations in rice shoot dry matter at different N levels

2.2 施氮量对不同基因型水稻植株氮含量的影响

在不同施氮处理下,不同基因型水稻材料的氮素吸收能力存在显著差异(图 2)。随施氮水平提

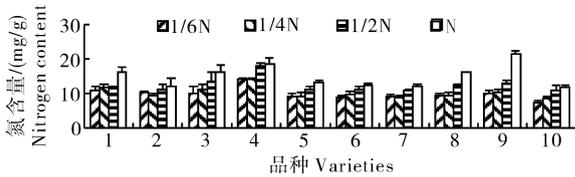


图 2 不同氮水平下水稻地上部氮含量的基因型差异

Fig. 2 Genotypic variations in rice shoot nitrogen concentration at different N levels

表 2 不同基因型水稻植株干物质积累量与氮含量及其积累量之间的相关系数(r)¹⁾

Table 2 Correlations of dry matter biomass with N contents and N accumulation in different genotypic rice at different N levels

项目 Items	DMA	植株含氮量 N content
1/6N 处理 1/6N treatment		
植株含氮量 N content	-0.783 1**	
植株吸收氮量 N uptake	0.613 6	-0.196 9
1/4N 处理 1/4N treatment		
植株含氮量 N content	-0.882 1**	
植株吸收氮量 N uptake	0.737 6**	-0.500 6
1/2N 处理 1/2N treatment		
植株含氮量 N content	-0.908 2**	
植株吸收氮量 N uptake	0.861 3**	-0.745 8**
N 处理 N treatment		
植株含氮量 N content	-0.740 3**	
植株吸收氮量 N uptake	0.913 4**	-0.484 8

1)DMA:干物质积累量 Dry matters accumulation; *,** 分别表示 0.05 和 0.01 水平上差异显著,下表同。*,** significant at the 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same as in tables below.

高,不同基因型水稻植株氮含量均有不同程度的上升,说明施氮能提高水稻植株的氮含量,而不同基因型水稻植株对氮素的响应程度不同,在正常供氮水平下,鱼眼糯品种的氮含量最高,为 21.5 mg/g,一枝香品种最低,为 11.9 mg/g。在 1/2N 处理条件下,各品种的氮含量较正常水平下降 2.9%~39.3%,下降幅度最小的是黑粳 2 号,最大的是鱼眼糯。在 1/4N 处理条件下,各品种氮含量较正常 N 处理下降 20.3%~51.1%;下降幅度最小的是粳 7623,最大的是鱼眼糯。在 1/6N 处理条件下,各品种的氮含量较正常 N 处理下降 23.2%~52.8%,下降幅度最小的是黑粳 2 号,最大的是鱼眼糯。相关性分析表明,不同基因型水稻品种氮含量与植株氮素积累量、植株干物质积累量之间均呈极显著负相关(表 2)。

2.3 施氮量对不同基因型水稻氮素积累量的影响

在同一施氮水平下,不同基因型水稻品种的氮素积累量存在显著差异(图 3)。各基因型水稻品种氮素积累量都随施氮水平的提高而增加,并呈极显著正相关,但不同的基因型水稻品种,施氮处理对氮素积累量的影响程度不同。在 1/6N 处理水平,植株氮素积累最高的是湘早籼 7 号品种,每桶为 168.6 mg,最低的是黑粳 2 号品种,每桶为 113.6 mg。在 1/4N 处理水平,不同基因型植株氮素积累量较 1/6N 处理上升 10.9%~48.0%,上升幅度最小的是鱼眼糯品种,最大的一枝香品种。在 1/2N 处理水平,不同基因型植株氮素积累量较 1/6N 处理上升 63.2%~144.6%,上升幅度最小的是湘早籼 7 号品种,最大的是南雄早油品种。当施氮水平达到正常供氮(N)水平时,植株的氮素积累量较 1/6N 处理上升 92.6%~279.1%,上升幅度最小的是黑粳 2 号品种,最大的是南雄早油品种。从以上数据分析可知,随着施氮水平的提高,不同处理条件下植株氮素积累量的差异越明显,施氮量加剧了不同基因

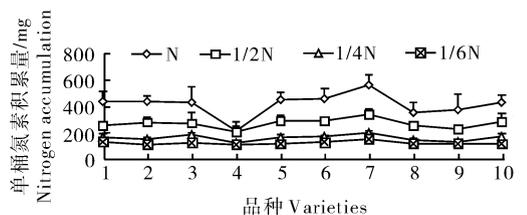


图 3 不同氮水平下水稻氮素积累量的基因型差异

Fig. 3 Genotypic variations in rice shoot N accumulation at different N levels

型间氮素积累量的差异,说明施氮水平的变化对氮素积累量的变化起着非常重要的作用。植株氮素积累量即植株含氮量与植株干物质积累量的乘积,由表 2 相关性分析可知,氮素积累量与氮素干物质的积累量呈极显著正相关($P < 0.01$)。

2.4 施氮量对不同基因型水稻品种氮素的干物质生产效率的影响

氮素干物质生产效率是评价水稻氮素利用率的一个重要指标,提高水稻干物质生产效率,可以控制氮肥施用量,减轻施用氮肥所带来的环境污染。方差分析表明:相同施氮水平下不同基因型以及相同基因型在不同施氮处理下,氮素干物质生产效率都存在极显著差异($P < 0.01$),而且施氮处理与基因型之间存在明显的互作效应。由图 4 可知,随着施氮水平的提高,不同基因型水稻品种间的氮素干物质生产效率呈现明显的下降趋势。在 1/6N 处理下,氮素干物质生产效率最高的一枝香水稻品种,为 132.1%,最低的是黑粳 2 号水稻品种,为 70.1%;1/4N 处理下,黑粳 2 号、乌壳占和紅米三担品种的氮素干物质生产效率较 1/6N 处理均无明显差异,其余品种下降 3.5%~12.5%;1/2N 处理下,不同基因型氮素干物质生产效率较 1/6N 处理下降 10.6%~35.4%,下降幅度最大的一枝香品种,最小的是矮脚南特品种;当施氮水平达到正常供氮时,不同基因型氮素干物质生产效率较 1/6N 处理下降 22.7%~52.8%,下降幅度最大的是鱼眼糯品种,最小的是黑粳 2 号品种。综合分析表明,随施氮水平

的提高,不同基因型材料氮素干物质生产效率之间的差异逐渐变小,说明施氮水平能够明显改变不同基因型氮素干物质生产效率间的差异。氮素积累量与氮素干物质生产效率之间相关性分析表明,氮素积累量与干物质生产效率之间存在极显著的负相关性($r = -0.6413^{**}$)。

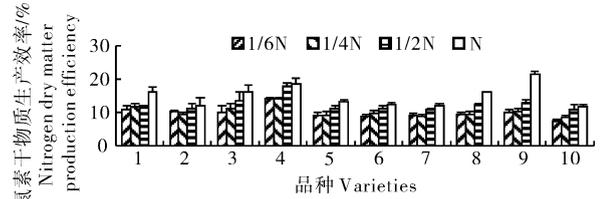


图 4 不同施 N 水平下水稻干物质生产效率的基因型差异
Fig. 4 Genotypic variations in nitrogen dry matter production efficiency at different N levels

2.5 土壤氮素表观平衡

4 种施 N 处理下,不同基因型水稻的土壤 N 素表观平衡结果见表 3。随施 N 量的增加,残留在土壤中的 N 素平均值呈上升趋势。1/6N、1/4N、1/2N 和 N 肥处理条件下,土壤中氮素表观残留率分别为 60.05%、67.21%、73.02% 和 78.72%。对土壤氮素表观平衡进行统计分析表明:相同基因型不同氮处理间以及相同处理的不同基因型间,土壤 N 素表观平衡都存在极显著的差异($P < 0.01$),而且施氮处理与基因型之间存在极显著的互作效应;不同类型水稻品种在相同的施氮处理下,土壤 N 素表观平衡之间也存在极显著的差异($P < 0.01$),施氮处理与品种类型间也存在极显著的互作效应。

表 3 4 种施 N 水平下不同基因型水稻的土壤表观平衡

Table 3 Soil N apparent balance of different genotypes rice at four N application levels

基因型编号 Genotypes	单桶 N 素积累量/mg N accumulation				单桶土壤 N 素表观平衡/mg Soil N apparent balance			
	1/6N	1/4N	1/2N	N	1/6N	1/4N	1/2N	N
1	134.71	166.25	260.59	438.28	195.29	333.75	739.41	1 561.72
2	129.62	154.30	258.62	440.76	200.38	345.70	741.38	1 559.24
3	168.56	189.07	275.01	435.33	161.44	310.88	724.99	1 564.67
4	113.65	129.30	208.55	218.97	216.35	370.70	791.45	1 781.09
5	120.44	166.96	294.56	456.62	209.56	330.04	705.44	1 543.38
6	129.55	170.67	293.93	460.97	200.45	329.33	706.07	1 539.03
7	155.90	199.50	337.80	561.40	174.10	300.50	662.20	1 438.56
8	122.66	148.63	256.43	354.56	207.34	351.37	743.57	1 645.44
9	121.81	135.07	227.59	451.15	208.19	364.93	772.41	1 548.85
10	127.28	179.55	284.95	438.36	208.72	320.45	715.06	1 561.65
\bar{x}	131.82	163.93	269.80	425.64	198.10	336.07	730.20	1 574.36
CV	7.02	7.72	7.09	7.21	4.79	3.65	2.59	1.92
F 值 F-value	12.45**	10.61**	11.45**	26.22**	12.45**	10.61**	11.45**	26.22**

3 讨论

氮素是水稻生产中最重要营养元素之一,也是水稻生产主要的限制营养因子。氮素营养状况与水稻的生理特性、生育进程和产量形成等有着密切的关系^[27-28]。水稻物质生产与积累在决定水稻产量的同时也影响着水稻对氮素的吸收和利用^[29]。江立庚等^[21]研究结果表明,提高氮素的干物质或稻谷生产效率是对水稻进行遗传改良以提高其氮素吸收与利用的重点。本研究中利用大田筛选获得的10份干物质生产效率不同的水稻材料,在4种不同的施氮处理条件下,分析发现不同基因型水稻品种在氮含量、氮素积累量以及干物质积累量方面存在显著性的差异,这与前人研究结果一致^[30-32]。随施氮水平的提高,不同基因型水稻材料氮含量、氮素积累量以及干物质积累量显著上升,植株氮含量与植株氮素积累量呈极显著的正相关($r=0.6602^{**}$),植株氮素积累量与干物质积累量呈极显著正相关($r=0.8770^{**}$),植株氮含量及氮素积累量均与氮素干物质生产效率呈极显著负相关($r=-0.9478^{**}$, $r=-0.6413^{**}$),表明在低氮处理水平下,适当增施氮肥可提高稻草中N含量和氮素的积累量,但过度的增施氮肥并没有提高作物的干物质生产效率,没有达到真正意义上的提高产量,造成了氮肥的浪费。由图1分析可知,随着施氮水平的提高,矮脚南特、粳7623、南雄早油、红矮糯、乌壳占和一枝香品种在正常供氮(N)水平下的干物质积累量较低氮水平(1/6N)上升幅度分别为119.4%、115.9%、164.8%、153.7%、172.8%和132.6%,说明对于这些品种,提高氮素水平能够显著地提高干物质的累积量;而黑粳2号、红米三担和鱼眼糯品种随施氮量水平提高,干物质积累量没有呈现显著性增加,当施氮水平为1/2N时,干物质积累量基本达到一个稳定期,随施氮水平的提高,上升幅度不明显。

在4种不同施氮水平下,黑粳2号和鱼眼糯品种干物质积累量始终相对较低,而乌壳占和一枝香品种的氮素干物质积累量始终相对较高,红矮糯品种干物质积累排序变化较大,说明不同基因型水稻材料干物质生产量对施氮处理的响应存在较大差异。在4种施氮水平下,对植株氮含量按大小排序发现,一枝香和乌壳占品种始终处于较低位置,而黑粳2号和鱼眼糯品种一直处于较高位置。同时,随施氮水平的提高,黑粳2号、红米三担和鱼眼糯品种

的氮含量较其他基因型呈现更明显的差异,当施氮水平达到正常供氮时,植株的含氮率上升幅度明显高于其他基因型,说明在低氮处理下,相对于其他基因型材料,黑粳2号、红米三担和鱼眼糯品种对氮素更敏感,随着施氮水平提高,植株对氮肥呈现“奢侈”吸收。

综上所述,不同基因型水稻各性状对施用氮肥后的反应情况存在明显差异。本研究采用氮素积累、氮素干物质积累、氮素干物质生产效率等反映水稻氮素吸收、利用效率的指标进行比较发现,各基因型氮素的吸收利用效率差异显著。种植不同基因型水稻材料的土壤氮素表现平衡间存在显著差异,此差异随施氮水平提高而更加明显。

参 考 文 献

- [1] 曾建敏. 水稻氮效率评价系统的建立与氮高效形成机理的研究[D]. 武汉:华中农业大学图书馆,2006.
- [2] 张洪程,王秀芹,戴其根,等. 施氮量对杂交水稻两优培九产量、品质及吸氮特性的影响[J]. 中国农业科学,2003,36(7):800-806.
- [3] 黄见良. 水稻氮素营养特性、氮肥利用率与实时实地氮肥管理的研究[D]. 长沙:湖南农业大学图书馆,2003.
- [4] 凌启鸿,张洪程,戴其根,等. 水稻精确定量施氮研究[J]. 中国农业科学,2005,38(12):2457-2467.
- [5] 朱兆良. 推荐氮肥适宜施用量的方法议[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(1):1-4.
- [6] CHRISTOS D. Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source-link relations[J]. European Journal of Agronomy, 2009, 30:129-139.
- [7] YANG H J, LI Y Z, YANG R C, et al. Dry matter production characteristics of super high yielding rice[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2001, 15(4):265-270.
- [8] WU G C, ZHANG H C, DAI Q G, et al. Characteristics of dry matter production and accumulation and super-high yield of Japonica super rice in south China[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(11):1921-1930.
- [9] 李承力,杨特武,徐君驰,等. 丹江口库区麦套稻适宜施肥量及养分利用率研究[J]. 华中农业大学学报,2011,30(5):532-538.
- [10] 王伟妮,李小坤,鲁剑魏,等. 氮磷钾配合施用对水稻营养吸收、积累与分配的影响[J]. 华中农业大学学报,2010,29(6):710-714.
- [11] 王巧兰,吴礼树,赵竹青,等. 氮形态对水稻植株氮损失的影响[J]. 华中农业大学学报,2010,29(3):312-316.
- [12] 张岳芳. 不同氮素积累类型籼稻品种的基本特点及其对供氮浓度的响应[D]. 扬州:扬州大学图书馆,2006.
- [13] 梁尹明,林贤青,孙永飞,等. 不同作物管理技术对水稻氮素吸收和利用的影响[J]. 土壤通报,2007,38(1):191-193.

- [14] 刘立军, 桑大志, 刘翠莲, 等. 实时实地氮肥管理对水稻产量和氮素利用率的影响[J]. 中国农业科学, 2003, 36(12): 1456-1461.
- [15] 魏海艳, 张洪程, 杭杰, 等. 不同氮素利用效率基因型水稻氮素积累与转移的特性[J]. 作物学报, 2008, 34(1): 119-125.
- [16] 叶全宝, 张洪程, 魏海燕, 等. 不同土壤及氮肥条件下水稻利用效率和增产效应研究[J]. 作物学报, 2005, 31(11): 1422-1428.
- [17] KOUTROUBAS S, NTANOS D A. Genotypic differences for grain yield and nitrogen utilization in Indica and Japonica rice under Mediterranean conditions[J]. Field Crops Research, 2003, 83: 251-260.
- [18] 单玉华, 王海候, 龙银成, 等. 不同库容量类型水稻在氮素吸收利用上的差异[J]. 江苏大学学报: 农业与生命科学版, 2004, 25(1): 41-45.
- [19] 董明辉, 张洪程, 戴其根, 等. 不同粳稻品种氮素吸收利用特点的研究[J]. 扬州大学学报: 农业与生命科学版, 2002, 23(4): 43-46.
- [20] INTHAPANYA P, SIHAVONG P, SIHATHEP V, et al. Genotypic performance under fertilized and non-fertilized conditions in rainfed lowland rice[J]. Field Crops Research, 2000, 65: 1-14.
- [21] 江立庚, 戴廷波, 韦善清, 等. 南方水稻氮素吸收与利用效率的基因型差异及评价[J]. 植物生态学报, 2003, 27(4): 466-471.
- [22] 单玉华, 王余龙, 山本由德, 等. 常规籼稻与杂交籼稻氮素利用效率的差异[J]. 江苏农业研究, 2001, 22(1): 12-15.
- [23] 凌启鸿. 水稻群体质量理论与实践[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 118-134.
- [24] 朴钟泽, 韩龙植, 高熙宗. 水稻不同基因型氮素利用效率差异[J]. 中国水稻科学, 2003, 17(3): 233-238.
- [25] YANG J C, PENG S B, ZHANG Z J, et al. Grain and dry matter yields and partitioning of assimilates in Japonica/Indica hybrid rice[J]. Crop Science, 2002, 42(3): 766-772.
- [26] 刘建安, 米国华, 张福锁. 玉米基因型与土壤氮素表现平衡[J]. 生态农业研究, 2000, 8(2): 38-41.
- [27] MATSSUSHIMA S. High-yielding rice cultivation: a method for maximizing rice yield through "ideal plants" [M]. Tokyo: University of Tokyo Press, 1976.
- [28] SAMONTE S O P B, WILSON L T, MEDLEY J C, et al. Nitrogen utilization efficiency: relationship with grain yield, grain protein and yield-related traits in rice[J]. Agronomy Journal, 2006, 98: 168-176.
- [29] 董桂春, 王余龙, 张岳芳. 不同氮素籽粒生产效率类型籼稻品种产量及其构成的基本特点[J]. 作物学报, 2006, 32(10): 1511-1518.
- [30] 单玉华. 不同类型水稻品种氮素吸收利用的差异及控制[D]. 扬州: 扬州大学图书馆, 2002.
- [31] BROADBENT F E, DATTA S K, LAURELES E V. Measurement of nitrogen utilization efficiency in rice genotypes[J]. Agronomy Journal, 1987, 79: 786-791.
- [32] HUANG J L, ZOU Y B, PENG S B, et al. Nitrogen uptake, distribution by rice and its losses from plants tissues[J]. Plant Nutrition Fertilizer Science, 2004, 10(6): 579-583.

Effect of nitrogen application on nitrogen uptaking and utilization in ten different rice varieties

SONG Zhi-yong LÜ Kai LUO Feng LIAN Xing-ming

National Key Laboratory of Crop Genetic Improvement,
Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract Using ten rice varieties of different nitrogen dry matter production efficiency as materials, the effects of four nitrogen treatments on nitrogen dry matter production efficiency (NDMPE), dry matter accumulation (DMA) and nitrogen accumulation (NA) were investigated in pot experiments. The results showed that the nitrogen application increased DMA and NA, but different genotype rice had different increment. With the nitrogen application, the NA and nitrogen content (NC) and DMA increased significantly, but the DMPE obviously declined. The NA was significantly correlated with NC and DMA, the NDMPE was significantly negatively correlated with NA and NC. Significant difference of soil nitrogen apparent balance appeared among different rice varieties, and the difference become more obvious with the increase of nitrogen application.

Key words rice (*Oryza sativa* L.); nitrogen application; nitrogen accumulation; nitrogen dry matter production efficiency

(责任编辑: 陆文昌)