

# 配合施用 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 和 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 对旱作水稻 生长与水分利用效率的影响\*

钱晓晴 沈其荣<sup>†</sup> 徐国华

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

**摘 要** 水稻作物通常被认为是典型的喜铵作物, 然而越来越多的报道认为混合供应  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  更有利于作物生长和产量的形成, 水稻也不例外。水稻旱作后, 由于土壤中的无机氮大量以  $\text{NO}_3^--\text{N}$  形态存在, 因而  $\text{NO}_3^--\text{N}$  已成为旱作水稻的重要氮源。本文采用普通湿润冲积新成土进行盆栽试验, 旨在探讨不同氮素形态比例对旱作水稻生长、产量形成和水分生产效率的影响。结果表明: 覆盖旱作条件下, 配合施用  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  可以显著降低水稻一生的总需水量, 改善旱作水稻抽穗后功能叶的光合生产能力, 提高蒸腾水分的干物质和籽粒生产效率;  $\text{NO}_3^--\text{N}$  施用比例在 50% 时有利于旱作水稻形成最高的生物学产量和籽粒产量;  $\text{NO}_3^--\text{N}$  施用达到和超过这一比例则使成熟期水稻根系质量及根冠比下降。

**关键词** 氮肥形态, 旱作水稻, 水分利用效率

**中图分类号** S511.606.2

水、肥及其耦合关系深刻地影响着作物生长发育, 其作用机理和优化管理措施一直是可持续农业研究的热点<sup>[1]</sup>。营养状况对作物水分利用效率的影响一般是通过根系生长发育、扩大作物水分利用空间、提高根系活性和延续根系寿命来实现的<sup>[1-4]</sup>。适宜的养分供应还可以通过提高作物蒸腾强度、增加冠层叶面积、提高  $\text{CO}_2$  同化率、降低叶水势、加强水分向地上部传导等最终提高植物对水分的利用效率<sup>[5-7]</sup>。对部分旱作物来说, 在完全  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  营养情况下, 根系的导水率下降、水分吸收和木质部溢泌物减少、叶片水势降低, 以及叶片水分蒸腾速率和利用效率降低, 而适度比例的  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  配合施用, 可获得较高的水分蒸腾利用效率<sup>[8-10]</sup>。长期以来, 水稻普遍在淹水条件下栽培, 并被认为是典型的喜铵作物, 因而有关水稻  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  营养特性方面的研究较为深入。然而, 水稻旱作后土壤氮素营养形态发生了根本性的改变,  $\text{NO}_3^--\text{N}$  成为其主要的氮素营养来源。但有关水稻  $\text{NO}_3^--\text{N}$  营养特征及其对水稻水分利用状况的影响等方面的研究资料还很少。本研究采用大型不锈钢可拆卸盆钵进行试验, 旨在探索旱作水稻在供给不同形态氮素肥料组合条件下的生长发育、光合作用及水分利用效率, 为旱作水稻氮素营养研究和集约化管理水资源实践提供参考依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

试验土壤采自仪征市朴席乡农技站试验田的普通湿润冲积新成土。主要养分指标: 有机质、全氮、碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为  $13.11 \text{ g kg}^{-1}$ 、 $1.43 \text{ g kg}^{-1}$ 、 $128 \text{ mg kg}^{-1}$ 、 $26.7 \text{ mg kg}^{-1}$  和  $81 \text{ mg kg}^{-1}$ 。土壤 pH(水浸) 为 8.15。供试水稻品种为汕优 63。

### 1.2 方 法

盆栽试验于 2001 年 5 月 26 日~10 月 20 日在南京农业大学盆栽场防雨塑料大棚中进行。为了保证植物根系的充分生长和盆内土壤性状的相对稳定, 采用自行设计的可拆卸大型不锈钢盆钵进行试验。

\* 国家自然科学基金项目(30070446, 39970449) 资助

- 通讯作者

收稿日期: 2002-09-21; 收到修改稿日期: 2003-03-20

盆钵直径 0.40 m, 高 0.60 m。每盆装土 85 kg (折合干土), 灌水口置于离盆底 15 cm 处的中央。每盆施用 20 g 过磷酸钙和 10 g 氯化钾, 与表层 30 kg 土壤充分混匀作底肥。5 月 25 日灌水至饱和, 5 月 26 日每盆直播事先经催芽的水稻种 6 粒 (共 1 穴), 出苗后每盆定植 5 株。在距离植株 5 cm 的周边每 3 d 向土壤 10 cm 深处分 5 点注射 20 ml  $10 \text{ mg ml}^{-1}$  的含不同  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  及  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  质量比例 (100 0, 75: 25, 50 50, 25 75, 0 100) 的氮溶液一次, 直至始穗期, 共 24 次。施氮各处理全生育期施氮总量均为  $4.80 \text{ g pot}^{-1}$ 。试验中, 氮溶液采用硫酸铵与硝酸钠试剂配制, 其中加入氮素用量 5% 的双氰胺, 以防止处理前溶液中氮素形态的变化。设置不种稻处理 (CK) 以估计土壤水分蒸发量。另设一个不施氮处理 (T0) 以了解试验土壤氮素的基础肥力。各氮素形态比例的处理分别以代号 T1、T2、T3、T4 和 T5 表示。采用自行设计加工的半自动定量滴灌装置及时补充水分, 维持 20 cm 深处土壤水吸力在 0~50 kPa 之间。于拔节长穗期采样测定顶部 3 张展开叶的叶绿素含量; 在抽穗后选择晴天上午 9~11 时, 采用 BAU 便携式光合作用测定系统测定最后 3 张叶片的光合速率; 成熟期测定水稻生物学产量、经济产量、根系数量以及土壤含水量等。总灌水量加上播种时土壤含水量, 减去收获时土壤残留水量, 即为土壤水分腾发量 (收获时植株带走水量均在  $0.05 \text{ L pot}^{-1}$  以下, 未参与计算)。试验各处理均重复 3 次, 取平均值。

以种稻处理的腾发量减去未种稻处理的腾发量 (仅为蒸发量), 来估计水稻作物的蒸腾量。为了克服种稻处理对土壤水分蒸发的影响, 本实验采用了下列方法: (1) 所有钵子土面均覆盖半腐解秸秆 120 g (约 2 cm 厚) 以显著抑制土表水分蒸发; (2) 将未种稻钵子与种稻钵子相间排列, 并在未种稻钵子上面扎有相同密度、相近大小的草把来模拟植物冠层, 以消除植株冠层对土壤蒸发的影响; (3) 所有钵子外面都扎上反光纸以减少温差对水分蒸发的影响。

## 2 结果与分析

### 2.1 水稻需水量及需水动态

从表 1 中可以看出, 施用氮肥以后种稻土壤水分腾发量明显增加, 平均比未施肥处理高 10.1%。不同  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  配比对水稻一生总耗水量 (蒸腾量+蒸发量) 有明显的影响。同时施用  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的三个处理水分腾发量介于  $79.8\sim 82.0 \text{ L pot}^{-1}$ , 相当于 635~653 mm, 显著低于单独施用  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  及  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的两处理。按南京地区多年来同期参考作物腾发量  $\text{ET}_0 527 \text{ mm d}^{-1}$  [11], 试验条件下水稻全生育期的作物系数为 1.205~1.238。由于土壤表层覆盖了相当厚度的半腐解秸秆, 试验期间, 表层 0~5 cm 土壤温度和含水状况在种稻和未种稻处理之间几乎无差别 (前者平均值为  $26.02^\circ\text{C}$ , 后者平均值  $26.07^\circ\text{C}$ ), 用未种稻条件下的土壤水分蒸发量来估计种稻条件下土壤水分蒸发量是基本可行的。扣去蒸发量之后, 施氮处理水稻的蒸腾量平均高于未施肥处理水稻的 16.3%。可以预料, 在基础肥力较差的土壤上这种差异还会进一步加大。在施氮处理中, 随着  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  比例的增加, 水稻蒸腾量呈现出先下降后上升的变化趋势, 配合施用  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的三个处理水稻的蒸腾量变化在  $51.4\sim 53.6 \text{ L pot}^{-1}$ , 相当于 409~427 mm, 差异不大, 而单独施用  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  及  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  两处理分别为  $58.1$  和  $56.6 \text{ L pot}^{-1}$ , 即 462 和 450 mm。从各处理蒸腾量占腾发量的比例看, 其大小介于 62.2%~66.6% 之间, 而一般旱地农田该比例仅在 50% 左右 [12]。将全生育期土壤蒸发量换算成日蒸发量仅为  $1.53 \text{ mm d}^{-1}$ , 远低于江苏省地表全年日均蒸发量水平  $3.56\sim 4.66 \text{ mm}^{[13]}$ 。可见, 土壤表层覆盖在提高土壤水分的作物有效性方面有着重要意义。

与前面的方法类似地, 将种稻处理的累计灌水量 (腾发量) 减去未种稻处理的累计灌水量 (蒸发量) 来估计水稻的累计蒸腾量。为了更加清晰而便于比较, 在图 1 中只给出处理 1 (单施  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )、处理 3 (50%  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ +50%  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ) 和处理 5 (单施  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ) 水稻的累计蒸腾量随生长天数的变化过程。种稻各处理水稻的累计蒸腾量随生长天数增加呈“S”形曲线增加, 基本类似于植物生长曲线。值得注意的是, 单施  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  处理水稻的累计蒸腾量最高, 其次是单施  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的处理, 配合施用  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  处理的水稻累计蒸腾量始终最低。在水稻累计蒸腾量曲线中, 先后于 48~56 d、67~73 d 和 132~140 d 出现了三个蒸腾速率较小的阶段。对照图 2 不难看出, 在这三个阶段无一例外地出现了低温过程。如第 48d 的日均气温突然从前一天的  $34.5^\circ\text{C}$  降低到  $26.0^\circ\text{C}$ , 加上较低气温的阴雨天气往往与较高的空气湿度相联系, 二者的综合作用使得水稻的蒸腾耗水量明显减少。在对作物水分蒸腾量动态进行统计和建模时应特别注意气候变化的这种深刻影响。

表 1 覆盖旱作水稻一生需水总量及其组成

Table 1 Total requirement of water for rice grown on upland soil mulched with straw

处理代号 Treatment	腾发量 Evapotranspiration (L pot <sup>-1</sup> )	蒸腾量 Transpiration (L pot <sup>-1</sup> )	蒸腾量/腾发量 Transpiration/ evapotranspiration (%)
T0	75.1 ± 1.3d	46.7	62.2
T1	86.5 ± 1.7a	58.1	67.2
T2	82.0 ± 1.3bc	53.6	65.4
T3	80.3 ± 1.9c	51.9	64.6
T4	79.8 ± 2.4c	51.4	64.4
T5	85.0 ± 2.3ab	56.6	66.6
CK	28.4 ± 0.7	0.0	0.0

F = 13.997<sup>\*</sup>, LSD<sub>0.05</sub> = 3.22; 同列中平均数 ± 1S 后的相同字母表示平均数间的差数小于 LSD<sub>0.05</sub>, 下同

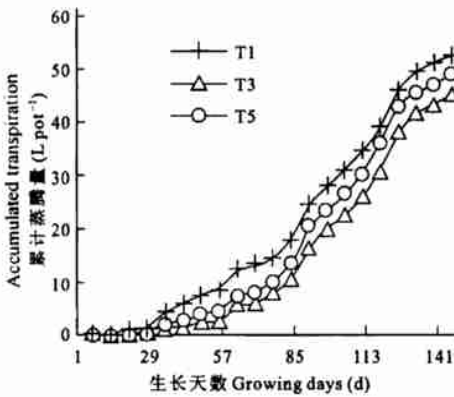


图 1 不同形态氮素比例对水稻蒸腾量的影响

Fig. 1 Effect of different nitrogen forms on transpiration of rice

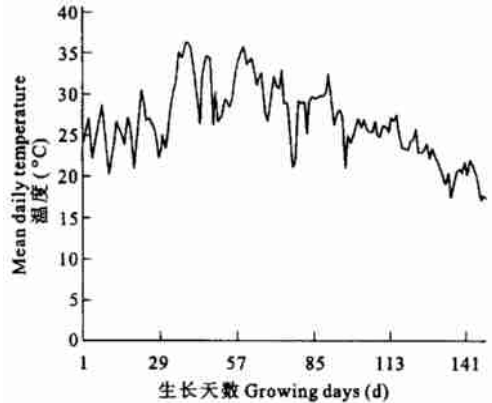


图 2 水稻生长期间的日平均温度

Fig. 2 Mean daily temperature during rice growing stage

## 2.2 水稻生长量与水稻水分生产效率

### 2.2.1 水稻生物学产量、经济产量和根系质量

从图 3 中可以看出,旱作条件下施氮各处理水稻的生物学产量、经济产量和根系质量均显著高于不施氮处理。尤其是根量的显著增加,为保证旱作水稻具有较高的水分利用效率奠定了基础。随着施用氮肥中  $\text{NO}_3^-$ -N 比例的提高,水稻生物学产量、经济产量和根系质量均呈先升后降的趋势。稍有不同的是,在  $\text{NO}_3^-$ -N 施用比例为 50% 时,水稻生物学产量及经济产量达到最大。而根系质量则以  $\text{NO}_3^-$ -N 施用比例为 25% 的处理为最大。可见,仅仅供应  $\text{NH}_4^+$ -N 并不能很好地满足旱作水稻良好生长和高产形成的全部需要。虽然水稻一般被认为是喜铵作物,但在实现旱作的条件下,并未能表现出典型的喜铵特征。试验中,配合施用  $\text{NH}_4^+$ -N 和  $\text{NO}_3^-$ -N 的所有处理的旱作水稻其生物学产量和经济产量均优于单独施用  $\text{NH}_4^+$ -N 和  $\text{NO}_3^-$ -N 的处理。

### 2.2.2 水稻水分生产效率

旱作条件下,不同形态氮素的供应比例不仅对水稻生长发育、生物学产量和经济产量形成产生显著的影响,而且影响到旱作水稻对水分的利用状况。从表 2 中数据可以看出,水稻的水分生产效率与  $\text{NH}_4^+$ -N 和  $\text{NO}_3^-$ -N 的供应比例存在一定的联系。随着施用氮肥中  $\text{NO}_3^-$ -N 比例的提高,旱作水稻的水分生产效率呈现出先上升后下降的变化趋势。 $\text{NH}_4^+$ -N 与  $\text{NO}_3^-$ -N 等量供应的条件下,可以使旱作水稻的水分生产效率达到最大。该处理腾发水分的干物质和籽粒生产效率分别达到

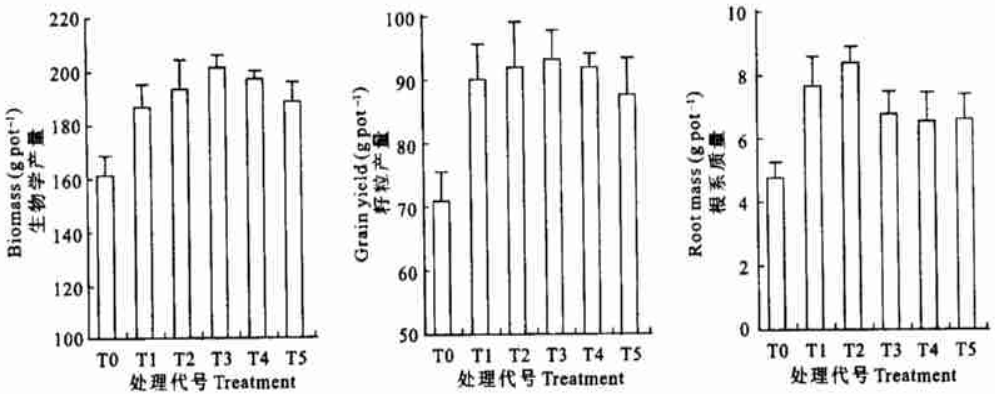


图 3 不同形态氮素比例对水稻生物量、籽粒产量和根系质量的影响

Fig 3 Effect of different forms of nitrogen on rice biomass, grain yield and root mass

了  $2.51$  和  $1.16 \text{ kg m}^{-3}$ , 比单施  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  处理高出  $16.6\%$  和  $11.8\%$ 。蒸腾水分的生产效率则分别达到了  $3.96$  和  $1.83 \text{ kg m}^{-3}$ , 比单施  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  处理高出  $23.5\%$  和  $18.4\%$ 。经最小显著极差检验, 差异均达到显著水平。

表 2 不同形态氮素供应比例对水稻水分生产效率的影响

Table 2 Effect of different nitrogen forms on water productive efficiency (WPE) of rice ( $\text{kg m}^{-3}$ )

处理 代号 Treat- ment	蒸发水分生产效率 WPE of evapotranspiration				蒸腾水分生产效率 WPE of transpiration			
	总干物质 Dry matter ( $\text{kg m}^{-3}$ )	相对值 Relative value (%)	籽粒 Grain ( $\text{kg m}^{-3}$ )	相对值 Relative value (%)	总干物质 Dry matter ( $\text{kg m}^{-3}$ )	相对值 Relative value (%)	籽粒 Grain ( $\text{kg m}^{-3}$ )	相对值 Relative value (%)
T0	2.15c	99.6	0.95d	91.0	3.45cd	107.8	1.52c	98.5
T1	2.15c	100.0	1.04bcd	100.0	3.20d	100.0	1.54bc	100.0
T2	2.37ab	109.9	1.12abc	108.1	3.58bc	111.8	1.70ab	110.0
T3	2.51a	116.6	1.16a	111.8	3.96a	123.5	1.83a	118.4
T4	2.47a	114.4	1.15ab	110.7	3.82ab	119.3	1.78a	115.4
T5	2.22bc	102.9	1.03cd	99.3	3.33cd	104.0	1.55bc	100.3
F 值	6.71**		5.04*		7.93**		4.85	

## 2.3 水稻叶片光合速率和叶绿素含量

**2.3.1 水稻叶片叶绿素含量** 测定拔节长穗期水稻功能叶叶绿素含量, 结果如图 4 所示。不同形态氮素供应比例对不同叶位叶片叶绿素含量及其组成的影响有所不同。随着供应氮素中  $\text{NO}_3^--\text{N}$  比例的提高, 叶绿素 a 的含量呈上升趋势, 而叶绿素 b 的含量变化稍复杂。在倒 2 叶上,  $\text{NO}_3^--\text{N}$  比例达到 50% 以上时, 叶绿素 a 含量即显著高于单施  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的处理; 在倒 3 叶上,  $\text{NO}_3^--\text{N}$  比例达到 75% 以上时, 叶绿素 a 含量显著高于单施  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的处理, 而  $\text{NO}_3^--\text{N}$  施用比例达到 50% 以上时, 叶绿素 b 含量也显著高于单施  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的处理; 而在倒 4 叶上, 完全施用  $\text{NO}_3^--\text{N}$  处理的叶绿素 a 含量才显著高于单施  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的处

理,随着  $\text{NO}_3\text{-N}$  施用比例的提高,叶绿素 b 含量呈明显的先升后降的趋势,配合施用  $\text{NH}_4\text{-N}$  和  $\text{NO}_3\text{-N}$  的三个处理叶绿素 b 含量均显著高于单施  $\text{NH}_4\text{-N}$  的处理。

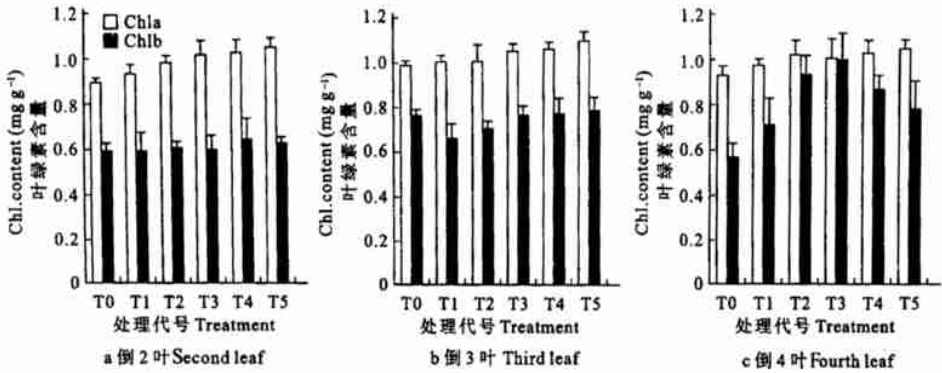


图4 不同形态氮素比例对水稻叶片叶绿素含量的影响

Fig. 4 Effect of different forms of nitrogen on chlorophyll content in leaves

**2.3.2 水稻叶片光合速率** 对水稻抽穗后几张高位叶片光合速率的测定结果列于表3。从表中数据可以看出,未施氮处理水稻的3张高位叶片光合速率普遍较低。其倒3叶的光合速率平均仅为  $\text{CO}_2$   $13.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ,不仅远低于其他各施肥处理,而且也低于同一处理水稻的上部两张叶片,缺氮早衰现象明显。施肥各处理水稻最后3张功能叶光合速率存在一定差异。从总体上说,随着供应氮素中  $\text{NO}_3\text{-N}$  施用比例的提高,叶片光合速率呈先增加后降低的趋势。但在不同叶位叶片上表现的程度有所不同,随着叶位的下降表现更为突出。 $\text{NH}_4\text{-N}$  和  $\text{NO}_3\text{-N}$  等量供应处理水稻植株倒3叶的光合速率为  $\text{CO}_2$   $23.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ,而单独施用  $\text{NH}_4\text{-N}$  或  $\text{NO}_3\text{-N}$  处理的相应数值仅分别为  $\text{CO}_2$   $18.5$  和  $17.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。

表3 不同形态氮素比例对水稻最后3张功能叶光合速率的影响

Table 3 Effect of different nitrogen forms on photosynthesis rate of last three functional leaves

处理代号 Treatment	叶片光合速率 Photosynthesis rate ( $\text{CO}_2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )		
	剑叶 Flag leaf	倒2叶 Second leaf	倒3叶 Third leaf
T0	16.2 ± 2.5b	15.3 ± 3.7b	13.9 ± 2.9b
T1	19.8 ± 2.1b	19.1 ± 2.0ab	18.5 ± 2.5ab
T2	20.6 ± 3.3ab	20.2 ± 3.8ab	20.4 ± 3.8a
T3	22.3 ± 1.9a	23.7 ± 3.6a	23.3 ± 3.2a
T4	23.0 ± 2.2a	22.8 ± 2.3a	19.7 ± 2.6a
T5	22.4 ± 3.7a	20.5 ± 3.9ab	17.9 ± 4.1ab
F 值	2.68	2.40	2.79

### 3 讨论与小结

世界范围内水资源严重短缺早已是不争的事实。对传统淹灌种植、耗水较多的水稻作物实行非充分灌溉乃至全程旱作有着广阔的应用前景<sup>[1,5]</sup>。尽管有关旱作水稻栽培生理及管理技术等方面研究已有不少报道<sup>[5]</sup>,但在旱作水稻水分利用效率方面积累的资料却十分匮乏。目前,有关采用大、中型蒸渗仪对作物水分利用状况进行的研究工作几乎都集中于小麦、玉米等典型旱地作物上。而根据各种气象资料采用理论模型或经验方程进行计算则需要很多的基础理论假设和各种参数测定,这在实际应用中极不方便;便捷的经验方程的应用因其时域变异过大同样很难得到理想的计算结果。本试验采用了量

水法获得的数据来讨论旱作水稻在不同形态氮素供应比例条件下的水分利用特点。由于采用了一系列措施,基本保证了各处理和对照盆内土壤与地表土壤性状的一致,同时还克服了一般试验盆钵因容积偏小而限制作物根系充分生长的缺陷,获得了有关秸秆覆盖旱作条件下不同形态氮素对水稻水分利用效率影响等方面的资料。虽然采用了间接计算水稻作物水分腾发量中的蒸发量与蒸腾量的方法,但较以往一般盆钵试验和田间模拟试验所得到的结果更为可靠。在旱地土壤中,氮素硝化作用普遍存在,但其强度因土壤质地、孔隙、温度、水分等性状而有较大差异<sup>[14]</sup>。可以预料,这种差异将影响到旱作条件下不同形态氮素施用比例对水稻生长与水分利用效率的作用。因此,以更多品种的水稻为材料,深入开展在不同土壤及环境条件下的类似研究具有更为广泛的意义。

在本试验条件下,汕优 63 水稻一生总需水量(腾发量)随  $\text{NO}_3^--\text{N}$  施用比例上升呈先降后升的变化趋势。土壤水分蒸发量只占腾发量的 33.4%~37.8%。旱作水稻蒸腾水分生产效率随  $\text{NO}_3^--\text{N}$  施用比例的提高先升后降。当  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  等量施用时,水分的干物质和籽粒生产效率分别达到 3.96 和 1.83  $\text{kg m}^{-3}$  左右。等量供应  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  还有利于提高旱作水稻功能叶的叶绿素含量和光合速率,获得最高的生物学产量和籽粒产量。这可能也是不同形态氮素供应比例影响旱作水稻水分利用效率的重要原因。 $\text{NO}_3^--\text{N}$  施用比例达到一半以上时会导致生长后期水稻根系质量及根冠比的下降。

## 参考文献

1. 冯尚友. 水资源持续利用与管理导论. 北京: 科学出版社, 2000. 11~ 27
2. Davis J G, Quick J S. Nutrient management, cultivar development and selection strategies to optimize water use efficiency. Journal of Crop Production, 1998, 1(2): 221~ 240
3. Ericsson T. Growth and shoot: Root ratio of seedlings in relation to nutrient availability. Plant and Soil, 1995, 164: 168~ 169, 205~ 214
4. Wiesler F, Horst W J. Root growth and nitrate utilization of maize cultivars under field conditions. Plant and Soil, 1994, 163: 267~ 277
5. 石英, 沈其荣, 茆泽圣, 等. 旱作条件下水稻的生物效应及表层覆盖的影响. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(3): 271~ 277
6. Kondo M, Piggitt C, Courois B, et al. Interaction of nutrient and water in upland rice with emphasis on root ecophysiology. In: Proc. Upland Rice Consortium Workshop, Padang, Indonesia. IRRI Discussion Paper Series, 1996, 16: 141~ 153
7. Lamine B, Francoise G, Jose En, et al. The effect of nitrate and ammonium concentrations on growth and alkaloid accumulation of *Atropa belladonna* hairy roots. Journal of Biotechnology, 2001, 85(1): 35~ 40
8. 东先旺. 不同肥水组合对夏玉米水分利用效率及经济效益的影响. 华北农学报, 2000, 15(1): 81~ 85
9. 戴廷波, 曹卫星. 作物增铵营养的生理效应. 植物生理学通讯, 1999, 34(6): 448~ 493
10. Teyber R H, Hobbs D C. Growth and root morphology of corn as influenced by nitrogen form. Agron J., 1992, 84: 694~ 700
11. 李英能, 吴景社, 黄修桥. 节水农业新技术. 南昌: 江西科学技术出版社, 1998. 32~ 48
12. 许育彬. 作物水分利用效率研究进展. 陕西农业科学, 1998, (4): 13~ 17, 31
13. 江苏省气象局《江苏气候》编写组. 江苏气候. 北京: 气象出版社, 1999. 102~ 107
14. 廖先琴, 徐银华, 朱兆良. 淹水种稻条件下化肥氮的硝化-反硝化损失的初步研究. 土壤学报, 1982, 19(3): 257~ 263

## WATER UTILIZATION BY RICE GROWING IN AEROBIC SOIL SUPPLIED WITH DIFFERENT RATIO OF $\text{NH}_4^+\text{-N}$ AND $\text{NO}_3^-\text{-N}$

Qian Xiao-qing Shen Qi-rong Xu Guo-hua

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

### Summary

Rice (*Oryza sativa* L.) had been traditionally recognized as the typical plant preferred  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  as its N source. But more and more reports have shown that plant growth and yield is superior on mixtures of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  compared with provision of either nitrogen alone and only a few species actually perform well when  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  was provided as the only N source.  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  had become the important N source for rice crop cultivated in aerobic condition because of most the inorganic N in soil existed in this form. To evaluate the effects of mixed nitrogen nutrition on growth and water use efficiency of rice cultivated in aerobic condition, a pot experiment was conducted under different rates of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  application from 3-leaf stage to earing stage of the crop. The mixed nitrogen solution of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  was carefully injected into Typicudic Alluvic Primosols in pot every other two days at the ratio of 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 and 0/100. The amount of water irrigated everyday photosynthesis rate of functional leaves and yield of rice were measured and counted.

The results showed that the total requirement of water by rice could be significantly reduced by proper application of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  in aerobic cultivation. Meanwhile the photosynthesis of the functional leaves after earing was improved greatly and the dry matter and grain productive efficiency of water by transpiration was raised by utilization of  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  at a suitable ratio. The highest biomass production and maximum grain yield was obtained when 50% of nitrogen fertilizer as  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  was applied. Both root weight and ratio of root and shoot would be reduced when the proportion of  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  was  $\geq 50\%$ .

**Key words** Nitrogen form, Upland-cultivated rice, Water use efficiency