

# 直播旱作和水作水稻的氮素吸收利用特征研究\*

殷晓燕<sup>1</sup> 徐阳春<sup>1</sup> 沈其荣<sup>1†</sup> 周春霖<sup>2</sup> 黄新宇<sup>1</sup> 李曼莉<sup>1</sup>

尹金来<sup>2</sup> Klaus Ditter<sup>3</sup>

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

(2 江苏省沿海地区农业科学研究所, 江苏盐城 224002)

(3 德国基尔大学)

## NITROGEN UPTAKE AND USE EFFICIENCY BY RICE CROPS CULTIVATED IN WATERLOGGED FIELD AND SOWED ON DRY FIELD WITHOUT OR WITH DIFFERENT MULCHINGS

Yin Xiaoyan<sup>1</sup> Xu Yangchun<sup>1</sup> Shen Qirong<sup>1†</sup> Zhou Chunlin<sup>2</sup> Huang Xinyu<sup>1</sup> Li Manli<sup>1</sup> Yin Jinlai<sup>2</sup> Klaus Ditter<sup>3</sup>

(1 College of Natural Resources & Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

(2 Agricultural Research Institute of Jiangsu Coastal Area, Yancheng, Jiangsu 224002, China)

(3 Christian Albrechts University of Kiel, Germany)

关键词 旱作水稻; 氮素吸收; 氮肥生理利用率

中图分类号 S511.06 文献标识码 A

淡水资源的不足和大量耗竭将严重影响农业的可持续发展, 因此, 人们对消耗我国农业用水 80% 左右的传统水稻栽培提出了挑战<sup>[1]</sup>, 水稻旱作也就越来越多地受到关注。其中, 地膜覆盖旱作和利用半腐解秸秆替代地膜的覆盖旱作都受到了广泛的重视<sup>[2, 3]</sup>。目前, 旱作水稻的研究往往是以移栽后旱种的方式为主<sup>[1~3]</sup>, 这不仅耗时费力, 而且与水作相比, 移栽旱作还存在活棵所需时间长、成活率低等问题。本试验采用旱直播地膜覆盖育苗技术, 克服了上述缺陷, 但在这种栽培方式下水稻对氮素的吸收利用情况尚不清楚。本文通过田间<sup>15</sup>N 微区试验和在相同的条件下设立的无氮区试验, 研究直播

旱作(包括覆膜、覆草和裸地)水稻和常规水作水稻对土壤氮素和肥料氮素的吸收和利用特征, 旨在为水稻旱作的进一步推广以及水稻旱作过程中的氮素养分管理技术提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点和供试土壤

试验点位于盐城市东郊江苏省沿海地区农业科学研究所试验场内。供试水稻品种为中熟杂交稻特优 559, 供试土壤是黄泛冲积物母质发育而成的潮盐土, 其基本理化性质见表 1。

表 1 水稻播种前试验地土壤基本性状

土壤层次(cm)	容重(g cm <sup>-3</sup> )	pH(H <sub>2</sub> O)	全氮(g kg <sup>-1</sup> )	有机质(g kg <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N(mg kg <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N(mg kg <sup>-1</sup> )
0~20	1.46	8.42	0.744	11.8	3.51	6.90
20~40	1.54	8.73	0.581	7.8	1.67	7.48

\* 国家自然科学基金项目(30070446)

† 通讯作者, E-mail: qrshen@njau.edu.cn

作者简介: 殷晓燕(1980~), 女, 硕士研究生, 主要从事植物氮素营养研究

收稿日期: 2003-06-09; 收到修改稿日期: 2003-11-25

## 1.2 试验设计

试验分水作与旱作两个区,中间有一深60 cm、宽20 cm的沟,埋上厚塑料膜填土筑埂,用以隔水隔肥,在埂的两侧设有6 m宽的过渡区。水作区的水作处理(代号为W)与旱作区地膜覆盖即覆膜(代号为PF)、半腐解秸秆覆盖即覆草(代号为RS)和裸露(代号为B)等3个处理,每个处理重复3次,按随机区组排列。处理小区面积为72 m<sup>2</sup>(12 m×6 m),各小区内设有采样亚区(3 m×4 m),收获亚区(2 m×4 m),<sup>15</sup>N微区由金属框(1.8 m×2 m×0.4 m)围成,埋入土中25 cm深。各处理另设有不施氮肥的对照区,小区面积为9 m<sup>2</sup>(3 m×3 m),重复3次,按随机区组排列。水作稻5月13日落谷,6月13日移栽;旱作各处理于5月9日早直播后均覆盖地膜,待秧苗长至2~3叶期后,地膜覆盖处理破膜放苗,覆草处理则揭去地膜用半腐解秸秆覆盖,覆草量为6 000 kg hm<sup>-2</sup>;裸地旱作处理则在揭膜后按旱作物种植方式进行管理。各处理株、行距为25 cm×15 cm,每穴定苗3株。

### 1. 水肥管理

各处理均施尿素 N 225 kg hm<sup>-2</sup>,<sup>15</sup>N微区等量施用丰度为2%的<sup>15</sup>N标记尿素。氮肥分基肥、分蘖肥和穗肥3次施用,比例为4:3:3。其中水作区施肥日期分别为6月13日、6月26日、7月31日,而旱作区为5月6日、6月13日、7月31日。磷、钾肥用量分别为P 90 kg hm<sup>-2</sup>和K 90 kg hm<sup>-2</sup>,以普钙和氯化钾作为基肥一次施入。旱作各处理水稻生长期通过小区内埋设不同部位的8支张力计控制土壤水分含量在田间持水量的90%左右。

### 1.4 土壤及植株样品的采集

在各收获亚区收割地上部,脱粒。秸秆称鲜重,随机取小样烘干计算生物产量并磨碎分析含氮量;籽粒风干后称重计算产量,并随机取小样烘干计算干重和分析含氮量。<sup>15</sup>N微区仅收获中央0.8 m×1 m内的植株,按上述方法取得植株小样后分析样品含氮量和<sup>15</sup>N丰度。收获后一天,在<sup>15</sup>N微区内分层采集0~20 cm和20~40 cm土壤样品,风干后测定含氮量和<sup>15</sup>N丰度。

### 1.5 测定方法

植株含氮量的测定。植株地上部鲜样于105℃杀青30 min后在70℃烘干72 h,称重、粉碎后,用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消煮、连续流动分析仪(AA3, Bran Luebbe公司)测定待测液含氮量。<sup>15</sup>N丰度的测定。

将<sup>15</sup>N植株和土壤样品磨细后,用Carlo Erba元素分析仪和Delta C连续流动质谱仪联合测定样品全氮含量和<sup>15</sup>N丰度。

### 1.6 数据分析

土壤各层% Ndff(来自肥料) =  $\frac{\text{各土层全氮的}^{15}\text{N原子百分超}}{\text{肥料}^{15}\text{N百分超}} \times 100$ , 0~40 cm土壤

残留肥料氮 = 土壤各层全氮含量 × 土壤各层% Ndff; 作物 Ndff(N kg hm<sup>-2</sup>) = 籽粒% Ndff × 籽粒吸氮量 + 秸秆% Ndff × 秸秆吸氮量, 作物吸收土壤氮 Ndfs = 作物吸氮量 - 作物 Ndff<sup>[4]</sup>, 差减法氮肥吸收利用率 =  $\frac{\text{施氮区植株总吸氮量} - \text{未施氮区植株总吸氮量}}{\text{施肥量}} \times$

100, 氮肥作物<sup>15</sup>N回收率 =  $\frac{\text{作物 Ndff}}{\text{施用}^{15}\text{N氮肥量}} \times 100$ ,

氮肥生理利用率(PE) =  $\frac{\text{施氮区籽粒产量} - \text{未施氮区籽粒产量}}{\text{施氮区植株总吸氮量} - \text{未施氮区植株总吸氮量}}$ ,

氮肥农学利用率(AE) =  $\frac{\text{施氮区产量} - \text{未施氮区产量}^{[5]}}{\text{氮肥施用量}}$ 。

所用数据均采用SPSS统计软件进行方差分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 水作与不同旱作处理对水稻产量的影响

比较水作和不同直播旱作条件下施氮区和无氮对照区水稻籽粒产量发现,旱作水稻的籽粒产量均比水作有所下降(表2),减产幅度介于11%~20%;在旱作条件下覆盖各处理的籽粒产量均比裸地处理高。尽管覆盖旱作水稻产量比水作水稻有所下降,但对同期不同处理水稻水分利用的计算表明,覆膜和覆草旱作处理的水分利用率是水作处理的3~3.5倍,所需的灌溉水量仅为水作处理的6%~8%<sup>[6]</sup>。说明覆盖旱作水稻能大量节约和高效地利用淡水资源,这在半干旱或季节性干旱地区以及水体受污染严重的湿润地区具有重要意义。本试验结果表明,覆草旱作在产量和节水效率上均与覆膜旱作无显著差异,与地膜覆盖相比覆草不但能降低生产成本,而且可避免因地膜覆盖造成的地力耗竭和土壤白色污染,并可以大幅减少秸秆就地焚烧的现象。因而,推广半腐解秸秆覆盖处理旱作水稻,可以更好地利用资源和保护农村生态与大气环境。

表 2 水作与不同旱作处理条件下水稻的籽粒产量差异

处理代号	无氮区水稻籽粒产量			施氮区水稻籽粒产量		
	籽粒(kg hm <sup>-2</sup> )	比裸地增产(%)	比水作增产(%)	籽粒(kg hm <sup>-2</sup> )	比裸地增产(%)	比水作增产(%)
W	6 616 a	19.4	—	9 574 a	22.2	—
PF	5 854 ab	5.6	- 11.5	8 518 b	8.7	- 11.0
RS	6 062 ab	9.4	- 8.4	8 481 b	8.3	- 12.8
B	5 541 b	—	- 16.2	7 833 b	—	- 20.5

注: 同列中不同字母表示邓肯检验 5% 水平差异显著

## 2.2 水稻生长期肥料氮的去向

<sup>15</sup>N 标记试验的结果表明, 水作条件下水稻对肥料氮的吸收远高于旱作水稻, 而水作与覆盖旱作处理在吸收利用土壤氮素(Ndfs)上并无显著差异, 因此对肥料氮的吸收利用差异是水稻吸氮总量差异的主要原因, 水作水稻的氮肥作物回收率显著高于旱作水稻(表 3)。究其原因可能有二, 其一是供试土壤为石灰性土壤, 在旱作条件下施入的氮肥以氨挥发形式损失较多, 而在水作淹水后土壤 pH 趋于中性, 氨挥发损失减少; 其二是旱直播条件下水稻发苗较慢, 基施的氮肥在被水稻吸收前有较多的损失<sup>[7]</sup>, 而水作稻在移栽后活棵较快, 对基肥氮的吸收较旱作稻多。因此在水稻旱直播条件下, 基肥氮究竟要不要施或是怎样施还需进一步深入研究。此外, 同期监测不同处理 N<sub>2</sub>O 排放量的结果表明, 旱

作水稻覆膜、覆草与裸地处理 N<sub>2</sub>O 的当季排放总量分别为 12.6 kg hm<sup>-2</sup>、11.1 kg hm<sup>-2</sup>、13.8 kg hm<sup>-2</sup>, 而水作处理水稻 N<sub>2</sub>O 的当季排放总量则仅为 2.1 kg hm<sup>-2</sup><sup>[8]</sup>。这也是旱作处理氮肥损失多的又一原因。

比较旱作条件下的三个处理发现, 覆草处理耕作层残留的肥料<sup>15</sup>N 显著高于其他两个旱作处理, 该处理收获时耕作层残留的肥料氮比覆膜和裸地分别高 N 51.7 和 60.9 kg hm<sup>-2</sup>, 残留率达 35.2%, 使得覆草处理的氮肥损失比覆膜和裸地处理分别低 21.5% 和 23.7%。究其原因是因为半腐解秸秆的加入增加了肥料氮的生物固持量, 使其在土壤中的残留增加<sup>[9]</sup>, 因而减少旱作水稻生育期内肥料氮的大量损失。这说明采用半腐解秸秆覆盖的水稻旱作更有利于保持和提高土壤氮库的有效储量, 减少氮肥的损失。

表 3 水作与不同旱作处理的氮肥回收率

处理代号	作物吸收肥料氮(kg hm <sup>-2</sup> )	作物吸收土壤氮(kg hm <sup>-2</sup> )	作物总吸氮量(kg hm <sup>-2</sup> )	<sup>15</sup> N 法氮肥作物回收率(%)	耕作层残留的肥料 <sup>15</sup> N(kg hm <sup>-2</sup> )	作物土壤回收率(%)	氮肥表观损失率(%)
W	77.2±13.4 a	100±12.7 a	177±7.1 a	34.3±6.0 a	82.1±30.1 a	70.8±7.4 a	29.2±7.4 c
PF	37.5±4.4 b	101±10.2 a	138±13.2 bc	16.7±1.9 b	28.9±17.9 b	29.5±9.5 c	70.5±9.5 a
RS	35.6±1.3 b	98.9±5.0 a	134±5.9 b	15.8±0.6 b	79.2±13.5 a	51.0±5.5 b	49.0±5.5 b
B	43.1±2.8 b	79.1±1.3 b	122±2.2 c	19.2±1.2 b	18.3±6.6 b	27.3±1.9 c	72.7±1.9 a

注: 同列中不同字母表示邓肯检验 5% 水平差异显著

## 2. 水作与不同旱作处理的氮效率比较

差减法对不同处理条件下水稻氮肥的吸收利用效率的计算结果表明, 旱作条件下水稻对氮肥的吸收利用效率比水作显著下降(表 4), 与同位素示踪法结果一致。然而将差减法与<sup>15</sup>N 示踪法计算的氮肥吸收利用效率相比较发现, 差减法测定氮肥回收率的结果均高于<sup>15</sup>N 示踪法测定的水稻氮肥回收率(表 3, 表 4), 说明水稻无论是在水作还是在旱作条件下, 施用氮肥后都存在一定的正激发效应。用<sup>15</sup>N 示踪法计算氮肥回收率时, 往往忽略了这种激发效

应。因此用差减法来计算氮肥的回收效率更符合实际情况。本试验中用差减法获得的半腐解秸秆覆盖处理的氮肥吸收效率为 20.6%, 低于石英等报道的 31.3%~56.6%<sup>[10]</sup>, 这可能与试验中采用的是直播旱作方式有关。看来在直播旱作水稻的栽培过程中不可简单套用常规水作稻的施肥模式, 在推广此项技术前还应开展适于旱作水稻生长规律的氮肥合理运筹模式研究。

在评价作物的氮肥吸收利用时, 不仅要看它的吸氮效率, 还要看其对所吸收氮素的利用效率。氮

肥生理利用效率用以表示氮肥施用后,作物增加的吸氮量转化为产量的能力。从表4可以看出,水稻旱作条件下氮素生理利用率均明显高于水作处理,尤其是覆草旱作条件下的氮肥生理利用率高可达N 52.7 kg kg<sup>-1</sup>。与水作稻相比,每吸收1 kg 氮素可增产籽粒21.9 kg,表明旱作水稻在生理节氮方面有很好的发展前景,进一步深入开展这方面的研究工作是十分有意义的。而数值上等于氮肥吸收利用效率

和生理利用率乘积的农学利用率,则用于评价氮肥施用后的增产效果。通过比较不同处理的氮肥农学利用率发现,旱作略低于传统的水作处理,但处理间无显著差异。这说明在传统水作条件下,比旱作水稻多吸收的那部分氮肥并没有被有效地用于水稻经济产量的形成,氮肥施用的增产效果与旱作水稻无显著性差异。

表4 水作与不同旱作条件对氮肥效率的影响

处理代号	氮肥吸收利用率(%)	氮肥生理利用率(N kg kg <sup>-1</sup> )	氮肥农学利用率(N kg kg <sup>-1</sup> )
W	42.5±3.1 a	30.8±5.6 b	13.1±3.1 a
PF	28.2±5.8 b	43.5±12.0 ab	11.8±1.4 a
RS	20.6±2.6 c	52.7±6.6 a	10.8±0.3 a
B	21.7±1.0 bc	46.9±5.5 a	10.2±1.5 a

注:同行(列)中不同字母表示邓肯检验5%水平差异显著

## 小 结

土表覆盖旱作水稻的产量略低于水作稻。在3个旱作处理中半腐解秸秆覆盖旱作水稻相对更具有推广价值。<sup>15</sup>N示踪结果表明,半腐解秸秆覆盖旱作水稻,可增加肥料氮在耕层土壤中的残留,这不仅有利于保持和提高土壤氮库,而且还有利于减少因肥料氮素损失带来的一系列环境问题。旱作后提高了水稻对氮素的生理利用效率,这在半腐解秸秆覆盖条件下尤为显著,表明旱作水稻在生理节氮方面有很好的发展前景,进一步深入开展这方面的研究工作是十分有意义的。

## 参 考 文 献

[1] 王甲辰,刘学军,张福锁,等.不同土壤覆盖物对旱作水稻生长和产量影响.生态学报,2002,22(6):922~929

- [2] 梁永超,胡锋,杨茂成,等.水稻覆膜旱作高产节水机理研究.中国农业科学,1999,32(1):26~32
- [3] 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
- [4] 巨晓棠,潘家荣,刘学军,等.高肥力土壤冬小麦生长季肥料氮的去向研究.核农学报,2002,16(6):397~402
- [5] 彭少兵,黄见良,种旭华,等.提高中国稻田氮肥利用率的研究策略.中国农业科学,2002,35(9):1095~1103
- [6] 黄新宇,徐阳春,沈其荣,等.不同地表覆盖旱作水稻和水作水稻水分利用效率的研究.水土保持学报,2003,17(3):140~143
- [7] 石英,沈其荣,冉伟.半腐解秸秆覆盖下旱作水稻<sup>15</sup>N的吸收和分配.中国水稻科学,2002,16(3):236~242
- [8] 李曼莉,徐阳春,沈其荣,等.旱作及水作条件下稻田CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放的观察研究.土壤学报,2003,40(6):864~869
- [9] 廖先苓,周卫军,何电源.<sup>15</sup>N标记羊粪和稻草还田氮素的转化和效应的研究.土壤学报,1995,32(3):293~299
- [10] 石英,冉伟,沈其荣,等.不同施氮水平下旱作水稻土壤无机氮的动态变化及其吸氮特征.南京农业大学学报,2001,24(2):61~65