doi：10.11838/sfsc.1673-6257.24147

稻萍还田和稻田养萍对稻田氨挥发的影响

朱　彤[1]，张　敏[2]，尹　斌[3]，姚元林[1*]

（1. 南京信息工程大学应用气象学院，江苏省农业气象重点实验室，江苏　南京　210044；
2. 洛阳师范学院，河南　洛阳　471934；3. 土壤与农业可持续发展国家重点实验室，
中国科学院南京土壤研究所，江苏　南京　210018）

摘　要：红萍和紫背浮萍均为优质的生物绿肥，稻萍还田是一种绿色农业生态系统管理方法，可以提高土壤有机质和氮含量，从而替代或减少氮肥的使用，但红萍和紫背浮萍还田对氨挥发及水稻产量的影响，目前未知。为了明确稻萍还田对稻田氨挥发和产量的影响，采用盆栽试验，设置两种绿肥还田（红萍和紫背浮萍）及放养红萍，共5种处理，检测整个稻季的氨挥发日通量及总量、水稻的籽粒产量、秸秆产量及生物量。试验结果表明：（1）与常规施肥处理相比，红萍和紫背浮萍还田处理显著增加了稻季氨挥发总量（$P<0.05$），红萍还田和紫背浮萍还田的增幅分别为25%和50%，而稻田养萍处理可使稻季氨挥发总量减少26.7%；（2）红萍和紫背浮萍还田处理显著提高了水稻的籽粒产量，分别为当地常规施肥处理籽粒产量的1.54和1.64倍，稻田养萍处理可使水稻产量增加14.8%。综上所述，稻萍还田使稻田产量上升，但增加了氨挥发量，而稻田养萍既能提高水稻产量又能减少稻田氨挥发。

关键词：红萍；紫背浮萍；稻萍还田；氨挥发

据世界粮农组织统计，中国目前的氮肥使用量占全球的30%，已成为世界第一氮肥消费大国[1]，氨排放的95%来自农业活动[2]。化学氮肥施入土壤后，作物吸收利用的只占其施入量的30%～35%[3]。在水稻生产中，氮肥的损失比率一般为40%～50%[4]，研究结果表明，在有利于氨挥发的条件下，通过氨挥发损失的氮可达施入量的10%～60%，成为氮损失的主要途径[5]。大量的氨气挥发进入大气层，造成大气污染，对人类健康构成威胁。此外，氨气还会与大气中其他成分发生反应，使雨水中含酸性物质，通过降水等途径进入陆地生态系统，进而引发水体富营养化或土壤酸化等不良影响[6]。同时，氨气可通过氧化反应生成氮氧化物，氮氧化物为温室气体，将加剧温室效应，影响地球气候变化。因此，在我国水稻生产中，迫切需要减少氨挥发、提高作物产量，实现农业的高产高效、低排放目标[7]。

单施化学氮肥虽能保持一定产量水平，但会导致土壤酸化、紧实度增加等问题。研究表明，我国当前施用的有机肥多为畜禽粪便、厌氧发酵有机物、沉淀有机物等，施用有机肥可有效提高土壤养分含量、增加土壤有机质含量[8]、改善土壤结构、缓解土壤酸化及提高土壤保肥保水能力[9]。红萍具有很强的生物固氮能力[10]，红萍作为稻田肥料在中国有着悠久的历史。稻萍还田是我国传统的利用稻田浮萍的主要方式之一。据测定，养萍后土壤紧实度降低，总孔隙增多，容重变轻，显著改善稻田小生境，使杂草减少，病虫害减轻[11]。稻萍还田使土壤有机质增加、微生物活性提高、增加土壤中的氮素含量，从而提高产量。

红萍和紫背浮萍均为优质的生物绿肥，稻萍还田是一种绿色农业生态系统管理方法，可以提高土壤有机质和氮含量，从而替代或减少氮肥的使用，研究表明，每公顷翻压30 t新鲜红萍可以替代常规施肥中20%的氮钾肥，显著提高水稻的株高、有效分蘖数和丛穗数，增加11%的水稻产量，并达到培肥地力的作用[12]。稻萍还田通过提高土壤有机质和养分含量，促进土壤微生物活动和土壤理化性质的稳定，使土壤获得更好的肥力和水分保持能力，为作物提供良好的生长环境[13]。有机肥的施用会增加土壤有机质含量，腐殖酸作为有机质分解

收稿日期：2024-03-20；**录用日期：**2024-05-07
基金项目：国家自然科学基金青年科学基金项目（42007210）。
作者简介：朱彤（2002-），学生，本科，研究方向为绿色农业减排增效。E-mail：874774214@qq.com。
通讯作者：姚元林，E-mail：002969@nuist.edu.cn。

的产物也将增加，因其对于游离在土壤及田面水中的铵根离子有一定吸附作用，从而减少氨挥发；有机质分解过程中产生的有机酸能在一定程度上使土壤和田面水的 pH 降低，从而降低氨挥发潜力[14]。但红萍和紫背浮萍还田对氨挥发及水稻产量的影响，目前未知。

1　材料与方法

1.1　试验设计

试验于 2014 年在中国科学院常熟农业生态实验站开展，该实验站地处长江三角洲腹地，属亚热带中部湿润季风气候区，年平均气温 15.5℃，年平均降水量 1038 mm，年日照 2203 h，无霜期 242 d。本试验所选用的土壤为江苏太湖的中性乌珊土［土壤 pH（H_2O）为 7.36］。

本试验共设置 5 个处理（表 1），每个处理 3 次重复。盆栽桶高度 15 cm、直径 30 cm，装土 12 kg。水稻品种为当地推广品种南粳 46。使用的氮肥为尿素，氮肥施用量为 N 300 kg·hm^{-2}（根据盆栽桶的面积进行折算），氮肥分 3 次表施，基肥：分蘖肥：穗肥的施肥比例为 4∶2∶4。对于红萍、紫背浮萍还田处理，插秧前一个月分别用国际水稻所营养液和国际水稻所营养液 +N（NH_4^+–N 40 mg·L^{-1}）培养液扩繁红萍和紫背浮萍，稻季插秧时将 10 g 风干的红萍、紫背浮萍随同基肥一次性施入土表。风干红萍和紫背浮萍的含氮量分别为 3.3% 和 4.7%，含碳量分别为 38% 和 39%。对于放养红萍处理，水稻插秧结束后，立即放养红萍，田面水里红萍的覆盖度为 90%，所选用的红萍为当地品种羽叶满江红。

表 1　各处理的红萍、紫背浮萍施用方式与施氮量

处理代号	处理	红萍、紫背浮萍施用方式	施氮量（g·盆$^{-1}$）
CT	当地常规施肥	不施用	1.85
CTA	当地常规施肥 + 放养红萍	放养	1.85
CTDA	当地常规施肥 + 红萍还田	风干做绿肥	1.85
CTDD	当地常规施肥 + 紫背浮萍还田	风干做绿肥	1.85
CK	对照不施氮肥	不施用	0

1.2　测定项目与方法

1.2.1　NH_3 挥发的测定

NH_3 挥发采用密闭室抽气法测定，密闭罩（直径 20 cm，高 15 cm）顶部有 2 个通气孔，一个连接采气杆（高 2.5 m），一个连接洗气瓶，通过与洗气瓶连接的真空泵抽气减压，使挥发的 NH_3 被洗气瓶里的稀硫酸（0.05 mol·L^{-1}，60 mL）捕获，采集时间为每天 7：00—9：00 和 15：00—17：00，每次抽气收集 2 h，以这 4 h 的 NH_3 挥发量作为每日的平均挥发通量。吸收液中的 NH_4^+ 用靛酚蓝比色法进行测定。NH_3 挥发通量计算公式为：

$$F_{NH_3}=C\times V\times\frac{24}{t}\times\frac{10^{-2}}{\pi\times R^2}$$

式中：F_{NH_3} 为 NH_3 挥发通量（N kg·hm^{-2}·d^{-1}）；C 为吸收液中 NH_4^+–N 的浓度（mg·L^{-1}）；V 为吸收液体积（L）；t 为 NH_3 收集时间（h）；R 为密闭室半径（m）

1.2.2　籽粒及秸秆产量的测定

作物成熟后，收获地上部作物，装入尼龙网袋里，待样品自然干燥后分为籽粒和秸秆，进行烘干和称重，记录不同处理的样品植株籽粒和秸秆的产量及生物量。

水稻生物量 = 籽粒产量 + 秸秆产量

1.3　数据处理

本研究采用 Excel 2016 进行基本数据处理，用 Origin 2021 进行图表绘制。

2　结果与分析

2.1　NH_3 挥发日通量及总量

如图 1 所示，红萍、紫背浮萍施用方式对稻田氨挥发日通量影响最为显著，与常规施肥 + 红萍还田（CTDA）相比，常规施肥 + 放养红萍（CTA）处理能显著降低施肥后一周的氨挥发日通量。与常规施肥（CT）相比，常规施肥 + 红萍、紫背浮萍还田

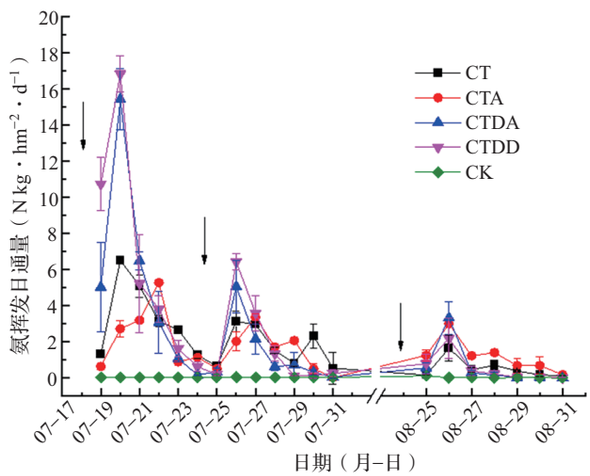

图 1　各处理的稻季氨挥发日通量

（CTDA、CTDD）处理显著提高了施肥后一周的氨挥发日通量。每次施肥后，NH_3 挥发日通量都随时间呈先增长后下降的趋势，常规施肥 + 红萍、紫背浮萍还田可显著提高氨挥发日通量峰值。

如表 2 所示，与当地常规施肥相比，红萍紫背浮萍还田处理显著提高稻季氨挥发总量（P<0.05），增幅分别为 25%、50%。放养红萍处理的氨挥发总量和常规施肥处理之间无显著差异（P>0.05），与红萍还田处理相比，放养红萍处理能显著降低氨挥发总量（P<0.05），放养红萍可使氨挥发总量降低 26.7%。紫背浮萍还田处理的氨挥发总量显著高于红萍还田处理（P<0.05）。

表 2　稻季各处理的氨挥发量

处理	BF（kg · hm^{-2}）	T1（kg · hm^{-2}）	T2（kg · hm^{-2}）	SUM（kg · hm^{-2}）	占比（%）
CT	20.6c	11.3a	3.6b	35.5c	12
CTA	14.4d	9.7ab	8.4a	32.5c	11
CTDA	31.6b	8.9b	4.4b	44.9b	15
CTDD	39.0a	11.9a	3.7b	54.6a	18
CK	0.2e	0.2c	0.2c	0.7e	

注：BF：施基肥；T1：第一次追肥；T2：第二次追肥；SUM：稻季氨挥发总量。针对每种施肥类型，同一列中，小写字母不同表示处理间存在显著性差异（P<0.05）。下同。

施基肥后，各处理间的基肥期氨挥发量均存在显著性差异（P<0.05），具体为当地常规施肥 + 紫背浮萍还田施肥 > 当地常规施肥 + 红萍还田 > 当地常规施肥 > 当地常规施肥 + 放养红萍 > 对照不施氮肥。

第一次追肥后，当地常规施肥 + 紫背浮萍还田、当地常规施肥 + 放养红萍和当地常规施肥的氨挥发量之间无显著性差异（P>0.05）。当地常规施肥 + 红萍还田处理的氨挥发量显著低于当地常规施肥 + 紫背浮萍还田处理及当地常规施肥处理。

第二次追肥后，当地常规施肥 + 紫背浮萍还田、当地常规 + 红萍还田和当地常规施肥的氨挥发量之间无显著性差异（P>0.05）。当地常规施肥 + 放养红萍处理的氨挥发量显著高于当地常规施肥 + 紫背浮萍还田、当地常规施肥 + 红萍还田及当地常规施肥处理（P<0.05）。

2.2　田面水铵态氮浓度

如图 2 所示，红萍、紫背浮萍施用方式对田面水铵态氮浓度影响最为显著，与当地常规施肥 + 红萍还田（CTDA）相比，当地常规施肥 + 放养红萍（CTA）处理能显著降低施基肥和第一次追肥后 1 周的田面水铵态氮浓度，而显著提高第二次追肥后的田面水铵态氮浓度。与当地常规施肥（CT）相比，当地常规施肥 + 红、紫背浮萍还田（CTDA、CTDD）处理显著提高了施肥后 1 周的铵态氮浓度。每次施肥后，田面水铵态氮浓度都随时间呈先增长后下降的趋势，与当地常规施肥相比，当地常规施肥 + 红、紫背浮萍还田（CTDA、CTDD）处理及当地常规施肥 + 放养红萍（CTA）处理均提高了田面水铵态氮浓度峰值。

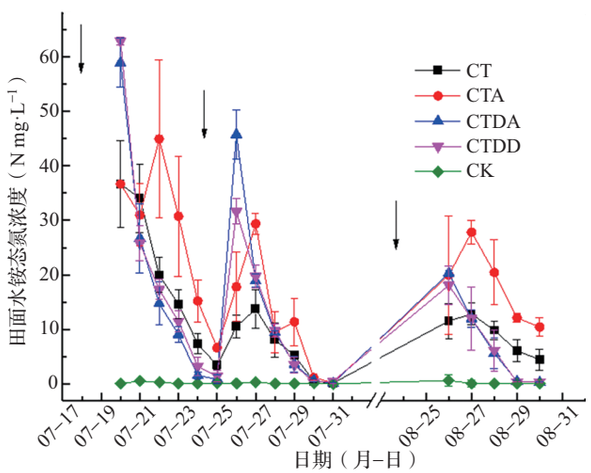

图 2　各处理的稻季田面水铵态氮浓度

2.3　水稻生物量及产量

如表 3，籽粒产量上，当地常规施肥 + 红萍、紫背浮萍还田（CTDA、CTDD）的籽粒产量均显著高于其他处理（P<0.05），分别为当地常规施肥（CT）籽粒产量的 1.54 和 1.64 倍。当地常规施肥 + 红萍还田（CTDA）的籽粒产量显著高于当地常规施肥 + 放养红萍（CTA）（P<0.05），为其籽粒产量的 1.34 倍。当地常规施肥（CT）和当地常规施肥 + 放养红萍（CTA）籽粒产量无显著差异（P>0.05）；

表 3　稻季收获期各处理的水稻籽粒产量、秸秆产量与生物量　（g · 盆$^{-1}$）

处理	籽粒产量	秸秆产量	生物量
CT	83.4b	58.0b	141.4b
CTA	95.8b	61.9b	157.7b
CTDA	128.4a	74.4a	202.8a
CTDD	136.5a	79.3a	215.7a
CK	52.4c	39.5c	91.9c

当地常规施肥+红萍、紫背浮萍还田（CTDA、CTDD）的籽粒产量无显著差异（$P>0.05$），对照籽粒产量显著低于其他处理（$P<0.05$）。

秸秆产量上，当地常规施肥+红萍、紫背浮萍还田（CTDA、CTDD）的秸秆产量均显著高于其他处理（$P<0.05$），分别为当地常规（CT）秸秆产量的1.28和1.37倍。当地常规施肥+红萍还田（CTDA）的秸秆产量显著高于当地常规施肥+放养红萍（CTA）（$P<0.05$），为其秸秆产量的1.20倍。当地常规施肥（CT）和当地常规施肥+放养红萍（CTA）秸秆产量无显著差异（$P>0.05$）；当地常规施肥+红萍、紫背浮萍还田（CTDA、CTDD）的秸秆产量无显著差异（$P>0.05$），对照秸秆产量显著低于其他处理（$P<0.05$）。

生物量上，当地常规施肥+红萍、紫背浮萍还田（CTDA、CTDD）的生物量均显著高于其他处理（$P<0.05$），分别为当地常规施肥（CT）秸秆产量的1.43和1.52倍。当地常规施肥+红萍还田（CTDA）的生物量显著高于当地常规施肥+放养红萍（CTA）（$P<0.05$），为其生物量的1.28倍。当地常规施肥（CT）和当地常规施肥+放养红萍（CTA）生物量无显著差异（$P>0.05$）；当地常规施肥+红萍、紫背浮萍还田（CTDA、CTDD）的生物量无显著差异（$P>0.05$），对照生物量显著低于其他处理（$P<0.05$）。

3　讨论

紫背浮萍还田和红萍还田显著提高了稻季氨挥发总量。红萍和紫背浮萍碳氮比较低、含氮量高，在土壤中迅速分解，所含氮很快释放至土壤，提高了土壤及田面水中的氮素含量，从而促进了氨化作用的发生[15]，提高了田面水中的铵态氮浓度，田面水中铵态氮浓度与氨挥发量正相关[16]，因而氨挥发量上升；有机肥相较红萍及紫背浮萍没有强烈的刺激氨挥发的作用，是由于有机肥碳氮比较高，施入土壤后分解释放缓慢。绿肥还田处理使土壤有机质含量升高，促进土壤微生物的繁殖和生化反应的进程，从而提高了土壤脲酶的活性[17]，促进尿素水解，加快了尿素释放氨的进程，增加氨挥发量。紫背浮萍和红萍作为一种有机肥，会促进稻田内藻类的生长，如绿藻等，藻类致使田面水的pH升高，氢氧根离子浓度增大，促进铵根与其结合生成氨气，增加氨挥发。而其中紫背浮萍还田处理的稻季氨挥发总量显著高于红萍还田处理，因为紫背浮萍的含氮量高于红萍，因此氮素含量高，分解释放后产生的氨化作用底物多于红萍[18]。

稻田养萍使稻季氨挥发量显著下降。红萍有显著的固氮能力，固定部分肥料释放的氮并通过覆盖田面形成物理隔膜，阻止田面水中铵态氮的挥发，使田面水铵态氮浓度上升，氨挥发量下降。红萍可以吸收固定尿素水解产生的铵态氮，且红萍覆盖田面水，形成物理隔膜，阻挡了铵态氮的挥发，同时挡住阳光，降低田面水的温度，减缓了尿素的分解速率和铵态氮的扩散速度，使氨挥发的速度减缓[19]，从而使铵态氮在田面水中的浓度上升并维持时间更长，同时降低稻田的氨挥发日通量。许和水[20]研究指出，氨挥发通量与田面水中溶解氧含量及土壤氧化还原电位呈负相关，稻田养萍增加了田面水溶解氧含量，提高土壤氧化还原电位，从而降低了田面水氨挥发。

紫背浮萍还田和红萍还田显著提高了水稻产量。红萍、紫背浮萍作为生物绿肥，有较高的营养价值，含有丰富的微量元素和有机质，还田后释放大量养分，补充土壤各营养成分，提高土壤有机质、氮素含量，促进土壤微生物的活动，从而促进水稻的生长和发育，增加水稻产量[21]；绿肥可以增加土壤的抗病虫害能力，降低水稻的病虫害发生率。紫背浮萍因富含多种植物次生代谢产物，对病虫害的控制效果尤为显著；绿肥还可以改善土壤物理性质，增强土壤的水分保持能力和通气性[22]，促进水稻的根系发育，并提高养分吸收能力，从而提高水稻产量。紫背浮萍还田相比红萍还田对水稻的增产效应更强，因为紫背浮萍在生长期能通过光合作用固定大量碳，且有很强的铵态氮吸收能力[23]，在其风干施入土壤后迅速分解释放碳氮，增加土壤肥力和微生物活性，为水稻生长提供充足的养分，从而提高其产量。

稻田养萍使水稻产量上升。它具有较强的固氮能力，能够把空气中的氮素固定下来，变成含氮量高、肥效好的有机肥[24]。同时，稻田养萍减少了肥料氮的氨挥发损失，使得作物可利用的氮更加充足，进而提高作物产量；陈炳焕等[25]利用^{15}N示踪技术研究表明，红萍可排出体内12%的氮素，红萍的固氮和排氮有助于调节稻田的氮素平衡，不仅增加了水稻植株对氮的利用效率，还确保了对水稻植株生长期氮的持续供应[26]，提供了良好的氮

素环境，有助其增产；红萍是一种高氮富钾的优质绿肥[27]，研究表明，增施有机肥有利于提高水稻的籽粒产量和植株吸氮量，并提高氮肥利用率及氮肥农学效率[28]，而稻田养萍过程中，红萍不断脱落的残体或自然凋谢死亡的残体恰好作为一种良好的生物绿肥分解释放养分，供作物吸收利用。王孝推[29]研究指出，稻田养萍能使土壤有机物含量提高、减少杂草、提高土壤肥力、改变土壤的结构，改善水稻的正常环境，提高水稻的吸氮量和对氮肥的利用率，从而提高水稻产量。

稻萍还田虽有利于增产，但会刺激氨挥发，应探索出一定的田间管理措施，如一部分稻萍还田，另一部分用于稻萍互作，通过还田为水稻提供养分，而利用互作在田面水形成物理隔膜，减少田面水氨挥发，两种措施同时使用，从而在增产的同时降低氨挥发。

4　结论

稻萍还田在增加水稻产量的同时，会提高稻田氨挥发，常规施肥＋红萍还田、常规施肥＋紫背浮萍还田增幅分别为25%、50%；稻田养萍有助于减少稻田氨挥发，放养红萍可使氨挥发总量降低26.7%。

参考文献：

[1] 张雪，郭玉华，朱彩云. 低氮对沈农702的库源关系及灌浆进程的影响[J]. 中国农学通报，2006，22（3）：221-224.

[2] Gu B，Ge Y，Ren Y，et al. Atmospheric reactive nitrogen in China：sources，recent trends，and damage costs[J]. Environmental Science & Technology，2012，46（17）：9420-9427.

[3] 朱兆良. 稻田土壤中氮素的转化与氮肥的合理施用[J]. 化学通报，1994（9）：15-17，22.

[4] 朱兆良. 中国土壤氮素研究[J]. 土壤学报，2008，45（5）：778-783.

[5] 沈善敏. 氮肥在中国农业发展中的贡献和农业中氮的损失[C]// 中国土壤学会，中国植物营养与肥料学会，中国作物学会，中国园艺学会，中国地理学会. 氮素循环与农业和环境—氮素循环与农业和环境学术讨论会论文集. 北京：科学出版社，2001：14.

[6] 王书伟，林静慧，吴正贵，等. 氮肥深施对太湖地区稻田氨挥发的影响[J]. 中国生态农业学报（中英文），2021，29（12）：2002-2012.

[7] 尹娟，费良军，田军仓，等. 水稻田中氮肥损失研究进展[J]. 农业工程学报，2005，21（6）：189-191.

[8] 邬刚，袁嫚嫚，王家宝，等. 有机肥替代化肥对设施番茄产量·品质和土壤养分的影响[J]. 安徽农业科学，2023，51（23）：117-119.

[9] 李其胜，杨凯，蒋伟勤，等. 有机（类）肥料对作物产量、土壤养分及土壤微生物多样性的影响[J]. 江苏农业学报，2023，39（8）：1772-1783.

[10] 刘中柱. 从国际红萍研究动态看稻田养萍前景[J]. 世界农业，1982（2）：4.

[11] 王在德，王璞. 红萍对水稻及土壤的作用[J]. 北京农业大学学报，1987，8（1）：19-26.

[12] 邓素芳，詹杰，杨燕秋，等. 单季稻红萍绿肥还田的节肥增产效应[J]. 福建农业学报，2022，37（7）：954-960.

[13] 周德，王旭，郭晓杰，等. 长期有机肥对红壤有机碳和微生物群落及水稻产量的影响[J]. 福建农业学报，2021，36（8）：867-877.

[14] 郭柯凡. 有机肥对滨海稻田氨挥发特征及氮素利用效率的影响[D]. 扬州：扬州大学，2024.

[15] 刘方园. 氮添加和温度变化对土壤碳氮矿化及酶活性的影响研究[D]. 西安：西安理工大学，2023.

[16] Science D O S，Islam M，Science D O S，et al. Effect of deep placement of nitrogen fertilizers on rice yield and N use efficiency under water regimes[J]. Saarc Journal of Agriculture，2015，13（2）：161.

[17] 闵旭旭. 堆肥污泥添加对土壤有机碳、氮矿化作用的影响机理[D]. 西安：西安理工大学，2024.

[18] Zhao Z，Shi H，Liu Y，et al. The influence of duckweed species diversity on biomass productivity and nutrient removal efficiency in swine wastewater[J]. Bioresource Technology：Biomass，Bioenergy，Biowastes，Conversion Technologies，Biotransformations，Production Technologies，2014，167：383-389.

[19] 汪建飞，盛蒂，段立珍. 土壤外源尿素水解速率影响因子研究[J]. 安徽技术师范学院学报，2004，18（5）：15-20.

[20] 许和水. 双季稻区“稻萍”共生系统固碳减排效应研究[D]. 北京：中国农业大学，2017.

[21] 孔凡丹，周利军，郑美玉，等. 秸秆覆盖对黑土区土壤微生物量、酶活性及大豆产量的影响[J]. 河南农业科学，2024，53（1）：87-95.

[22] 刘鑫，尹泽润，盛浩，等. 水稻土微生物群落、酶活性及理化性质对有机肥、石灰连续施用的响应[J]. 植物营养与肥料学报，2024，30（1）：63-73.

[23] Caicedo J R，Steen N P V D，Arce O，et al. Effect of total ammonia nitrogen concentration and pH on growth rates of duckweed（*Spirodela polyrrhiza*）[J]. Water Research，2000，34（15）：3829-3835.

[24] 湖南省土壤肥料研究所. 稻田养萍技术[J]. 湖南农业科技，1974（3）：8-43.

[25] 陈炳焕，翁伯琦，唐建阳，等. 红萍在稻田氮素平衡中的作用[J]. 核农学报，1994，8（2）：97-102.

[26] Fosu-Mensah B Y，Vlek P L G，Manske G，et al. The influenec of *Azolla pinnata* on floodwater chemistry，grain yield and nitrogen

uptake of rice in Dano, Southwestern Burkina Faso［J］. The Journal of Agricultural Science, 2015, 7（8）: 118130.
［27］ 邓素芳，黄水珍，郑向丽，等. 满江红属植物的有机肥品质评价［J］. 草地学报，2020，28（4）：932–939.
［28］ 李艳，唐良梁，陈义，等. 施氮量对水稻氮素吸收、利用及损失的影响［J］. 土壤通报，2015，46（2）：392–397.
［29］ 王孝推. 红萍肥田，水稻增产［J］. 土壤，1960（3）：24–22.

The effect of returning duckweed to rice fields and rising *Azolla* in rice fields on ammonia volatilization

ZHU Tong[1], ZHANG Min[2], YIN Bin[3], YAO Yuan-lin[1*]（1. School of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology, Nanjing Jiangsu 210044; 2. Luoyang Normal University, Luoyang Henan 471934; 3. State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing Jiangsu 210018）

Abstract: *Azolla* and *Spirodela polyrhiza* are both high-quality biological green fertilizers. Returning duckweed to the field is a green agricultural ecosystem management method that can increase soil organic matter and nitrogen content, thereby replacing or reducing the use of nitrogen fertilizer. However, the impact of returning *Azolla* and *spirodela polyrrhiza* to the field on ammonia volatilization and rice yield is currently unknown. To clarify the impact of duckweed returning to the field on ammonia volatilization and yield in rice fields, a pot experiment was conducted with 5 treatments, namely, local conventional practice（CT）, two types of green manure（*Azolla* and *spirodela polyrrhiza*）returning to the field（CTDA and CTDD）, *Azolla*-rice co-culture（CTA）, and CK. The daily flux and total amount of ammonia volatilization in the entire rice season, as well as the grain yield, straw yield, and biomass of rice were tested. The experimental results showed that:（1）Compared with CT, the *Azolla* or *spirodela polyrrhiza* returning significantly increased the total ammonia volatilization in the rice season（$P<0.05$）, with an increase of 25% in CTDA and 50% in CTDD, respectively. CTA treatment in rice fields reduced the total amount of ammonia volatilization during the rice season by 26.7%.（2）The treatment of returning *Azolla* or *spirodela polyrrhiza* to the field significantly increased rice grain yield, which was 1.54 and 1.64 times higher than the CT treatment, respectively. CTA treatment increased rice yield by 14.8%. In conclusion, returning *Azolla* or *spirodela polyrrhiza* to the field increased rice yield while increasing ammonia volatilization at the same time. Raising *Azolla* in rice fields could not only increase rice yield but also reduce ammonia volatilization.

Key words: *Azolla*; *spirodela polyrrhiza*; duckweed returning to the field; ammonia volatilization