

覆膜旱种降低水、陆稻锰素吸收提高锰素利用效率

张亚洁, 施恰恰, 王振省, 华晶晶, 郑丽平, 董存豪, 杨建昌*

(扬州大学农学院江苏省作物遗传生理国家重点实验室培育点, 扬州 225009)

摘要: 揭示覆膜与裸地旱种对水、陆稻锰(Mn)素吸收利用的差异。以陆稻中早 3 号和水稻武香粳 99-8 为供试材料, 以传统淹水种植方式为对照, 设置覆膜和裸地 2 种旱种方式, 研究了覆膜旱种和裸地旱种对 Mn 素吸收利用的影响。结果表明, 陆稻中早 3 号覆膜旱种的产量较对照显著降低 9.0%, 而水稻覆膜旱种的产量较对照无显著差异, 陆稻和水稻裸地旱种的产量分别较水种显著降低 11.7%和 8.0%。旱种使稻株的含 Mn 量、稻米中的含 Mn 量和 Mn 素累积量均减少, 而 Mn 素物质生产效率、Mn 素籽粒生产效率和 Mn 素收获指数均增加, 旱种还使 Mn 素在稻株穗部分配比例增加, 在叶片和茎鞘中的分配比例表现不一。与武香粳 99-8 相比, 中早 3 号生育后期稻株含 Mn 量提高 13.1%~20.6%, Mn 素累积量较少 5.2%~9.6%, Mn 素物质生产效率和 Mn 素籽粒生产效率降低, Mn 素收获指数增加。水种时中早 3 号稻米中 Mn 含量明显低于武香粳 99-8, 而旱种时则表现相反。表明旱种稻株对 Mn 素吸收利用因种植方式和品种类型不同而有较大差异。

关键词: 锰素, 吸收, 薄膜, 陆稻, 水稻, 旱种

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.13.015

中图分类号: Q945.12; S318; S511.048

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-13-0106-08

张亚洁, 施恰恰, 王振省, 等. 覆膜旱种降低水、陆稻锰素吸收提高锰素利用效率[J]. 农业工程学报, 2013, 29(13): 106-113.

Zhang Yajie, Shi Qiaqia, Wang Zhensheng, et al. Plastic film mulching cultivation decrease absorption of manganese and improve its use efficiency in upland and paddy rice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(13): 106-113. (in Chinese with English abstract)

0 引言

中国水资源只占世界人均量的 1/4, 而农业灌溉用水占耗水总量的 70%。传统的水稻栽培是淹水种植, 耗水量巨大, 水资源浪费严重。因此, 在无稳定灌溉水源的干旱、半干旱缺水地区, 水稻生产受到严重影响。近 20 年来, 围绕水稻旱种栽培技术的研究与应用不断得到加强, 高产陆稻新品种不断涌现, 种植面积也不断扩大, 这对发展节水型农业, 保证我国粮食安全发挥了重要作用。锰(Mn)素既是水稻生长发育必不可少的微量元素^[1], 更是人体不可缺少的微量元素^[1-3]。但是由于土壤中有效 Mn 的淋溶释放, 水稻对于 Mn 的吸收利用率大大降低。众多学者对土壤 Mn 的含量、存在形态、化学行为、土壤有效 Mn 及其影响因子^[2-14], 土壤缺乏 Mn

和 Mn 毒的条件和防治^[15-17], 植物对 Mn 的吸收利用等方面进行了大量的研究^[18-21]。关于不同土壤含水率条件下稻株 Mn 素利用效率报道甚少^[22-23], 刘学军等^[8]研究认为, 水稻淹水种植后, 土壤溶液中氧化态和还原态物质的相对浓度发生变化, 其中, 尤以土壤中的 Mn 容易通过一系列化学过程改变 Mn 素的有效性, 这不仅对当季水稻的 Mn 素吸收产生影响, 而且对后季旱作物的 Mn 素吸收利用也可能产生影响。而关于旱种方式对陆稻和水稻抽穗至成熟 Mn 素吸收利用的差异尚未见研究报道。为此, 本研究在明确了种植方式对氮素和磷素吸收利用差异的基础上^[24-26], 设置了覆膜旱种和裸地旱种方式, 以水种为对照, 旨在阐明陆稻和水稻的 Mn 素吸收利用对旱种方式的响应差异, 以期对陆稻和水稻的旱种节水栽培提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试验地情况

试验时间为 2005 年, 试验地点在江苏省扬州大学试验农牧场大田, 试验品种为中早 3 号(粳型陆稻)和武香粳 99-8(粳型水稻)。试验地前茬为小麦, 耕作层土壤为砂壤土, pH 值为 7.5, 土壤中全 Mn 含量 570.1 mg/kg、有效 Mn 含量 25.6 mg/kg、

收稿日期: 2013-02-07 修订日期: 2013-05-10

基金项目: 国家自然科学基金重大国际合作项目(31061140457); 水利部公益性行业科研专项经费项目(201201005); 江苏高校优势学科建设工程资助项目; 扬州大学大学生科技创新基金项目(B12119)

作者简介: 张亚洁(1967-), 女, 江苏如皋人, 博士, 副教授, 从事作物逆境栽培生理研究。扬州 扬州大学农学院, 225009。

Email: yjzhang@yzu.edu.cn

*通信作者: 杨建昌(1956-), 男, 江苏无锡人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事作物结实和逆境栽培生理。扬州 扬州大学农学院, 225009。Email: jcyang@yzu.edu.cn

有效磷含量 24.1 mg/kg、速效钾含量 85.4 mg/kg、碱解氮含量 103.6 mg/kg 和有机质含量 2.05%。稻株的主要生长期(6—9 月)的降雨量为 586.6 mm。

1.2 试验设计

试验设裸地早种(BC)、覆膜早种(PFMC)和水种(MC, 对照)3 种植方式。覆膜早种和裸地早种移栽前均先干耕炒耙作畦(畦宽 1.5 m), 然后浇透底墒, 移栽后 7d 内浇水至活棵, 不同的是覆膜早种是浇水覆膜后移栽, 而裸地早种是浇水后直接移栽。在水分管理上, 2 种早种方式均分别在分蘖盛期、孕穗期和开花期酌情浇水 1 次, 其他生育时期基本不浇水, 总浇水量为 723 m³/hm², 稻株自活棵至成熟, 土壤水势始终控制在-15~-25 kPa 范围内(用土壤水分张力计监测)。水种即从移栽到返青田间保持寸水活棵, 以后干湿交替灌溉, 收获前 7d 不灌水, 总灌水量为 5213 m³/hm²。移栽前分别基施尿素、过磷酸钙和氯化钾 450、375 和 300 m³/hm²。裂区设计, 种植方式为主区, 品种为副区。小区面积为 1.5 m×6 m, 3 次重复, 主区间作埂并包塑料薄膜。5 月 14 日播种, 6 月 12~13 日移栽(秧苗采用早育秧方式), 行株距 27 cm×12 cm, 两品种栽插均为 2 苗/穴。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 前茬耕作层土壤养分测定

有机质测定用重铬酸钾容量法; 碱解氮用碱解扩散法; 有效磷用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法; 速效钾用乙酸铵浸提—火焰光度法; 全量锰先用王水-高氯酸消解, 有效态锰先用 DTPA-CaCl₂-TEA 溶液提取, 然后两者均用火焰原子吸收光谱法测定; 采用电极法测定 pH 值。

1.3.2 产量

成熟期各小区实收 50 穴计产。

1.3.3 稻株 Mn 含量测定和 Mn 素利用效率计算

于抽穗期和成熟期分别按每小区平均每穴有效茎蘖穗取代表性的 5 穴为一样本(边行除外), 每个小区样本的地上部稻株分叶片、茎鞘和穗 3 个部分分别洗净烘干(105℃下杀青 30 min, 80℃下烘 72 h)称干物质质量。成熟期实收计产的籽粒先出精, 然后将稻米和前面烘干的干物质地上部茎鞘、叶片及稻穗分别粉碎后用 1:3 浓硝酸和高氯酸混合液进行微波消解, 纯水过滤、定容、摇匀, 并用火焰原子吸收光谱法测定其 Mn 的含量^[27]。

Mn 素物质生产效率=地上部干物质质量/稻株地上部 Mn 素累积量; Mn 素籽粒生产效率=籽粒产量/成熟期稻株地上部 Mn 素累积量; Mn 素收获指数=籽粒中的 Mn 素累积量/稻株地上部 Mn 素累积

量×100%

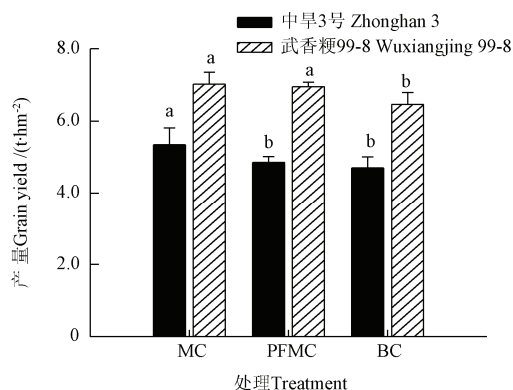
1.4 数据分析

所有数据以 Excel 处理, 以 SPSS 统计分析, 以 SigmaPlot 绘制图表。

2 结果与分析

2.1 覆膜与裸地早种对陆稻和水稻产量的影响

由图 1 可知, 陆稻中早 3 号覆膜早种的产量较水种显著减少 9.0%, 裸地早种的产量较水种显著减少 11.7%, 覆膜早种和裸地早种之间产量差异不显著; 武香粳 99-8 覆膜早种的产量较水种没有显著差异, 下降幅度仅为 0.9%, 武香粳 99-8 裸地早种的产量表现与中早 3 号相似, 较水种产量显著下降 8.0%。由图 1 还可能看出, 武香粳 99-8 的平均产量显著高于中早 3 号。综上所述, 覆膜早种对中早 3 号和武香粳 99-8 的产量影响有显著差异, 裸地早种对两品种的产量影响差异不明显。水稻的产量平均高于陆稻。



注: MC, 水种; PFMC, 覆膜早种; BC, 裸地早种。图中的竖线表示标准误。同一品种内不同字母表示差异达 0.05 显著水平。下同。
Note: MC, Moist cultivation; PFMC, Plastic film mulching cultivation; BC, Bare cultivation. Superscript bars represent standard errors. Different letters mean significant difference with the control at 0.05 level with the same cultivar. The same as follow.

图 1 覆膜与裸地早种对陆稻和水稻产量的影响

Fig.1 Effect of plastic film mulching and bare cultivation on grain yield of upland and paddy rice

2.2 覆膜与裸地早种对陆稻和水稻植株含 Mn 量的影响

由图 2 可知, 中早 3 号抽穗期覆膜早种的稻株含 Mn 量较水种显著减少 77.1%, 裸地早种的稻株含 Mn 量较水种显著减少 79.6%, 但覆膜早种和裸地早种之间差异不显著。3 种植方式下, 武香粳 99-8 稻株含 Mn 量表现趋势与中早 3 号基本类似; 中早 3 号和武香粳 99-8 成熟期各处理的稻株含 Mn 量表现趋势与抽穗期基本相同。抽穗期和成熟期中早 3 号稻株平均含 Mn 量较武香粳 99-8 分别增加 20.6%和 13.1%。以上说明, 早种使稻株的含 Mn 量

下降,中早 3 号植株含 Mn 量明显高于武香粳 99-8。

2.3 覆膜与裸地早种对陆稻和水稻植株 Mn 素累积量的影响

由图 3 可知,中早 3 号抽穗期覆膜早种的 Mn 素累积量较水种极显著减少 78.6%,裸地早种的 Mn 素累积量较水种极显著减少 83.8%,覆膜早种和裸地早种之间差异达到显著水平;中早 3 号稻株 Mn 素累积量大小顺序为水种>覆膜早种>裸地早

种,武香粳 99-8 抽穗期各种种植方式下 Mn 素累积量表现趋势与中早 3 号基本相同;成熟期,2 品种各处理的 Mn 素累积量表现趋势与抽穗期基本一致。抽穗期和成熟期中早 3 号稻株平均 Mn 素累积量较武香粳 99-8 分别减少 5.2%和 9.6%。由此说明,早种使稻株的 Mn 素累积量下降。水种时中早 3 号平均 Mn 素累积量显著小于武香粳 99-8,而早种时中早 3 号 Mn 素累积量略高于武香粳 99-8。

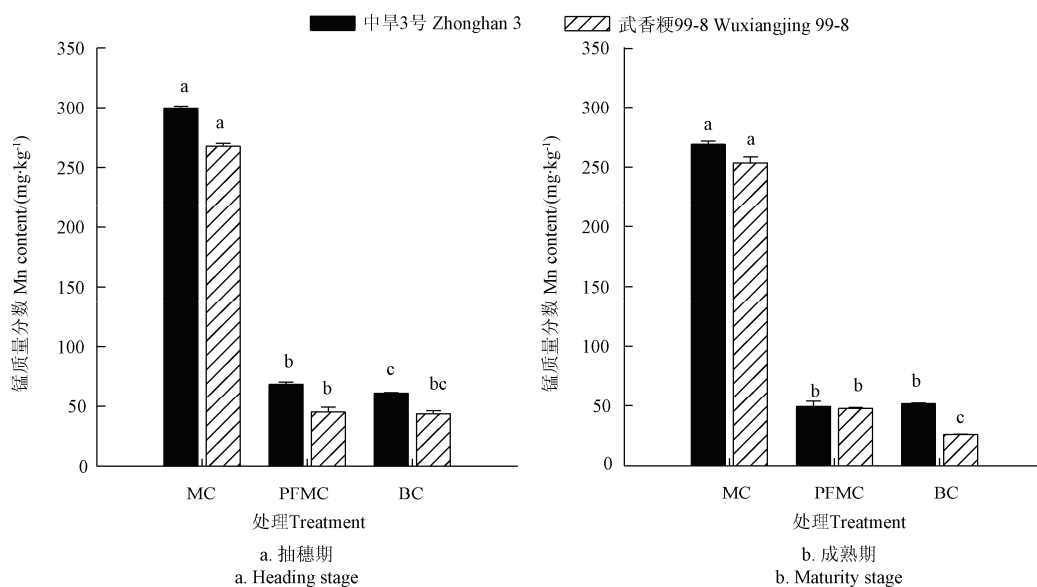


图 2 覆膜与裸地早种对陆稻和水稻抽穗及成熟期稻株含 Mn 量的影响

Fig.2 Effect of plastic film mulching and bare cultivation on above-ground Mn concentration in plants of upland and paddy rice at heading and maturity stage

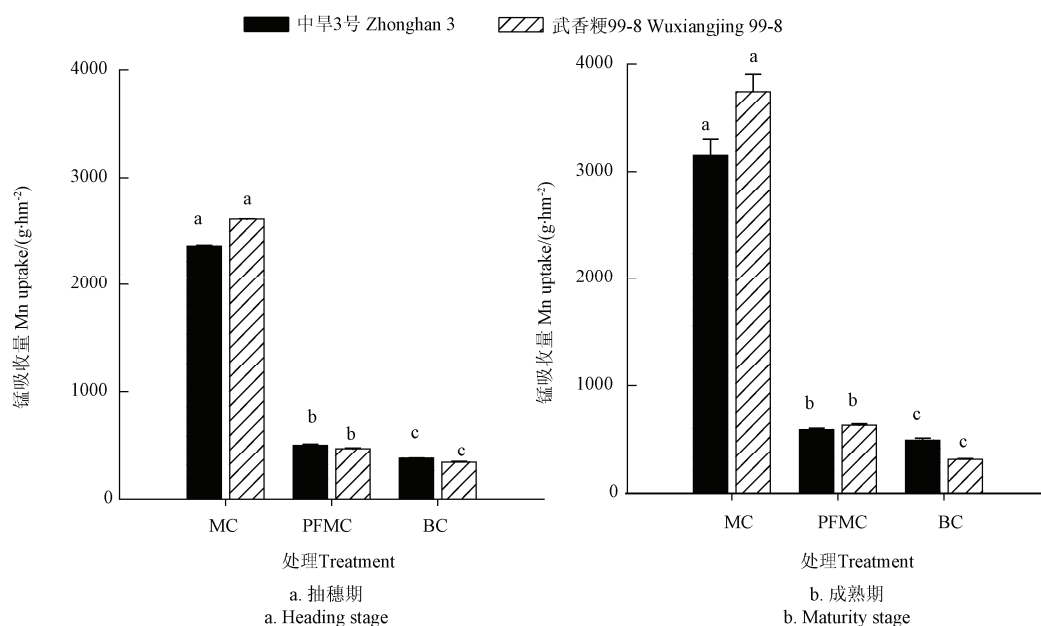


图 3 覆膜与裸地早种对陆稻和水稻抽穗及成熟期 Mn 素累积量的影响

Fig.3 Effect of plastic film mulching and bare cultivation on above-ground Mn accumulation amount of upland and paddy rice at heading and maturity stage

2.4 覆膜与裸地早种对陆稻和水稻植株各器官 Mn 素分配的影响

由图 4 可知，中早 3 号覆膜早种的 Mn 素在叶片中的分配比例较水种显著增加，裸地早种的 Mn 素在叶片中的分配比例较水种显著减少，但 Mn 素在茎鞘中的分配比例和在穗部中分配比例分别较水种显著减少和显著增加，无论 Mn 素在茎鞘中的分配比例还是在穗部中的分配比例，覆膜早种和裸地早种之间差异均不显著；武香粳 99-8 覆膜早种的 Mn 素在叶片中的分配比例较水种显著增加，裸地

早种的 Mn 素在叶片中的分配比例较水种差异不显著，Mn 素在茎鞘和穗部的分配比例，武香粳 99-8 与中早 3 号结果趋势相同。

Mn 素在叶片、茎鞘和穗部的平均分配比例，中早 3 号分别较武香粳 99-8 降低 11.5%、增加 2.2% 和 15.4%。以上说明，早种使水稻和陆稻在穗部的 Mn 素分配比例均得到提高。陆稻叶片中的 Mn 素分配比例低于水稻，茎鞘和穗部中 Mn 素分配比例高于水稻。

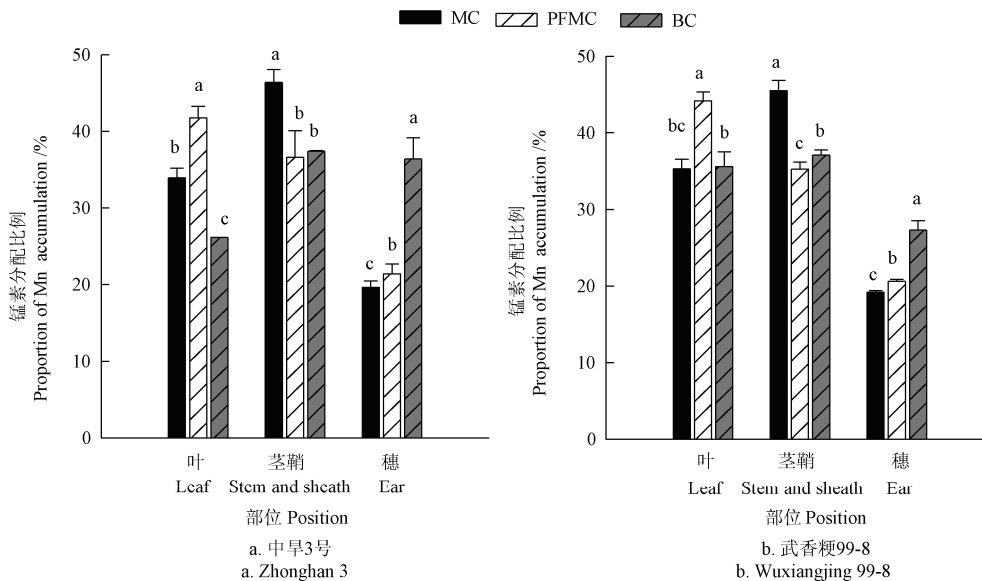


图 4 覆膜与裸地早种对陆稻和水稻成熟期 Mn 素分配的影响

Fig.4 Effect of plastic film mulching and bare cultivation on proportion of Mn accumulation in plants of upland and paddy rice at maturity stage

2.5 覆膜与裸地早种对陆稻和水稻稻米中 Mn 素含量的影响

由图 5 可知，中早 3 号覆膜早种的稻米含 Mn 量较水种显著减少 56.3%，裸地早种的稻米含 Mn 量较水种显著减少幅度与覆膜早种相差无几；武香粳 99-8 不同早种方式下稻米中 Mn 含量表现趋势与中早 3 号基本类似。水种方式下，中早 3 号稻米中 Mn 含量明显低于武香粳 99-8，而早种时中早 3 号稻米含 Mn 量明显高于武香粳 99-8。中早 3 号稻米中平均含 Mn 量较武香粳 99-8 减少 7.6%，两品种之间差异不显著。以上说明，水种时陆稻的稻米含 Mn 量低于水稻，而早种时陆稻的稻米含 Mn 量高于水稻，早种使稻米中含 Mn 量低于水种。

2.6 覆膜与裸地早种对陆稻和水稻 Mn 素利用效率的影响

2.6.1 对 Mn 素物质生产效率的影响

表 1 表明，中早 3 号抽穗期覆膜早种的 Mn 素物质生产效率较水种显著增加 3.4 倍，裸地早种较

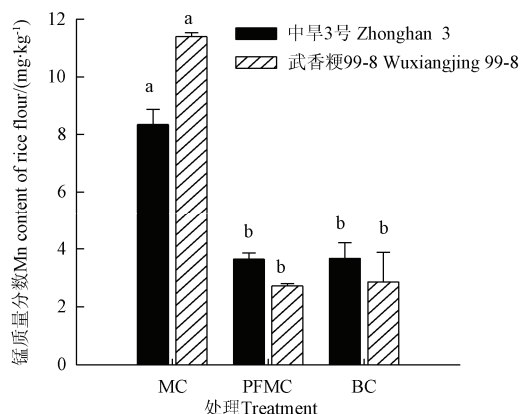


图 5 覆膜与裸地早种对陆稻和水稻稻米中 Mn 含量的影响
Fig.5 Effect of plastic film mulching and bare cultivation on Mn content in grain of upland and paddy rice

水种显著增加 3.9 倍；武香粳 99-8 的结果趋势与中早 3 号基本类似，但早种较水种增加倍数更大。平均 Mn 素物质生产效率，中早 3 号低于武香粳 99-8。两品种成熟期的表现趋势与抽穗期基本一致。以上

说明,旱种可使陆稻和水稻稻株 Mn 素物质生产效率提高。水稻的 Mn 素物质生产效率显著高于陆稻。

2.6.2 对 Mn 素籽粒生产效率和 Mn 素收获指数的影响

中早 3 号覆膜早种的 Mn 素籽粒生产效率较水种显著增加 4.3 倍,裸地早种较水种显著增加 4.0 倍,武香粳 99-8 表现趋势与中早 3 号基本类似,但早种增加倍数较水种更大。平均 Mn 素籽粒生产效率,中早 3 号低于武香粳 99-8。以上说明,旱种可使 Mn 素籽粒生产效率提高。陆稻的 Mn 素籽粒生

产效率较水稻极显著降低(表 1)。

表 1 还表明,中早 3 号覆膜早种的 Mn 素收获指数较水种增加 8.9%,裸地早种较水种极显著增加 85.2%;武香粳 99-8 覆膜早种的 Mn 素收获指数较水种增加 7.6%,裸地早种较水种极显著增加 42.6%,中早 3 号和武香粳 99-8 的 Mn 素收获指数不同种植方式下大小排序一致,即裸地早种>覆膜早种>水种。平均 Mn 素收获指数,中早 3 号显著高于武香粳 99-8。综上所述,旱种可使 Mn 素收获指数提高。陆稻 Mn 素收获指数较水稻显著增加。

表 1 覆膜与裸地早种对陆稻和水稻 Mn 素利用效率的影响

Table 1 Effect of plastic film mulching and bare cultivation on Mn use efficiency of upland and paddy rice

| 品种 Cultivar | 种植方式 Cultivation pattern | Mn 素物质生产效率 MUEp ¹⁾ /(kg g ⁻¹) | | Mn 素籽粒生产效率 MUEg ²⁾ /(kg g ⁻¹) | Mn 素收获指数 MHI ³⁾ % |
|-----------------------------|-----------------------------|---|-----------------------|---|---------------------------------|
| | | 抽穗期 Heading stage | 成熟期 Maturity stage | | |
| | | | | | |
| 中早 3 号 Zhonghan3 | MC | 3.33b | 3.72b | 1.79b | 19.65b |
| | PFMC | 14.58a | 20.55a | 9.40a | 21.40b |
| | BC | 16.35a | 19.34a | 8.86a | 36.40a |
| | 平均 Average | 11.42** | 14.54** | 6.68** | 25.82* |
| 武香粳 99-8 Wuxiangjing99-8 | MC | 3.75b | 3.95c | 2.05c | 19.15b |
| | PFMC | 22.26a | 21.00b | 10.34b | 20.60b |
| | BC | 23.06a | 38.58a | 19.72a | 27.30a |
| | 平均 Average | 16.36 | 21.18 | 10.70 | 22.35 |

注: MC, 水种; PFMC, 覆膜早种; BC, 裸地早种。同一品种内纵向比较, 标以不同字母的数值在 5%水平上差异显著, *表示达 0.05 显著水平, **表示达 0.01 显著水平。

Note: MC, Moist cultivation; PFMC, Plastic film mulching cultivation; BC, Bare cultivation. Values followed by a different letter within a column for a cultivar are significantly different from the control at $P \leq 0.05$. * significantly different at 0.05 probability level, ** significantly different at 0.01 probability level. ¹⁾MUEp: Mn use efficiency of matter production; ²⁾MUEg: Mn use efficiency of grain yield production; ³⁾MHI: Mn harvest index.

3 讨论

3.1 关于覆膜与裸地早种对陆稻和水稻产量的影响

前人关于不同早种方式对水稻产量的影响研究结果不尽一致。徐国伟等^[28]研究表明,杂交籼稻汕优 63 早种后产量较水种稻有不同程度的降低,覆草早种的产量则较水种稻无显著差异,覆膜早种的产量较水种稻显著降低。汤美玲等^[29]研究表明,早籼嘉早 935 的早直播覆膜早作的产量较水作极显著下降。梁永超等^[30]和杨静等^[31]研究认为,用杂交籼稻汕优 63 和常规晚粳稻秀水 134 覆膜早种后的产量较传统水种产量无显著差异。而关于覆膜与裸地早种对水、陆稻的产量影响研究报道甚少。程旺大等^[32]研究认为,巴西陆稻全程覆膜早直播较水直播减产不显著,而水稻则极显著减产。本研究结果表明,水稻覆膜早种的产量较水种无显著差异,而陆稻覆膜早种的产量较水种显著降低 9.0%,表现出陆稻和水稻的产量对覆膜早种的响应有明显差异。水稻的研究结果与梁永超等^[30]和杨静等^[31]的研究结论基本一致,陆稻的研究结果与程旺大等^[32]的研究结果表现不一,这可能与种植方式不同有关,程

旺大研究的早种方式是覆膜直播,而本试验研究的早种方式是覆膜后移栽。那么本研究中陆稻和水稻的产量对覆盖早种的响应为何表现不一?笔者推测:这可能与覆膜后土壤温度上升有关,尤其是在晴天的午后,陆稻中早 3 号对高温的忍耐能力可能不如水稻武香粳 99-8,从而导致陆稻中早 3 号在覆膜早种方式下分蘖发生率和成穗率明显低于水种方式,导致产量较水种显著下降;而水稻武香粳 99-8 品种覆膜早种下可能由于较耐高温,尽管千粒重和每穗粒数较水种有所下降,但成穗数和结实率反而有所提高,与水种相比,水稻覆膜早种的产量下降极少^[33]。

3.2 关于不同种植方式下陆稻和水稻的 Mn 素吸收利用

水稻淹水种植后,土壤中含氧量减少,再加上有机质发生嫌气分解,导致土壤氧化还原电位下降,而 Mn 又是易受土壤中氧化还原电位变化影响的矿质元素,从而引起 Mn 氧化物的溶解和还原,并使 Mn 整体下移,结果必然引起土壤中 Mn 大量淋溶和水稻对 Mn 素的奢侈吸收^[4-9,11]。土壤中有有效 Mn 总量与水稻中 Mn 含量有很好的相关性^[10]。淹

水条件下 Mn 的淋溶总量高出湿润处理数倍乃至数十倍之多, 这说明 Mn 的活化、淋溶与淹水的程度密切相关^[4]。在土壤水分胁迫状态下(旱种方式下), 土壤中 Mn 素的有效性会受到抑制, 从而会影响稻株对 Mn 素的有效吸收和累积^[11]。Los Banos 研究表明, 旱地植株 Mn 含量比水田植株中 Mn 含量少 2~5 倍^[34]。Yoshida^[35]和谢光辉等^[36]研究表明, 在酸性土壤中旱种稻株含锰量比淹水稻株显著降低, 而生长于中性或碱性土壤中旱稻植株含锰量却比水稻高。本研究结果表明, 在水种条件下, 与水稻相比, 陆稻生育中后期稻株含 Mn 量高, Mn 素累积量较少, 原因是陆稻植株含 Mn 量增加之得不能弥补陆稻干物重减少之失, 最终导致水种条件下陆稻植株 Mn 素累积量总体小于水稻, Mn 素物质生产效率和 Mn 素籽粒生产效率均明显降低, 但 Mn 素收获指数增加。表明在水种条件下, 水稻的 Mn 素累积能力明显强于陆稻。本研究结果还表明, 旱种可降低稻株含 Mn 量和 Mn 素累积量, 3 种植方式下, 含 Mn 量和 Mn 素累积量大小顺序为水种 > 覆膜旱种 > 裸地旱种, 水种时陆稻 Mn 素累积量和稻米中 Mn 含量明显低于水稻, 而旱种时陆稻 Mn 素累积量和稻米中 Mn 含量明显高于水稻。旱种增加了 Mn 素物质生产效率、Mn 素籽粒生产效率和 Mn 素收获指数。说明旱种后, 土壤氧化还原电位上升, 土壤活性 Mn 含量下降, 并由此使活性态 Mn 向难溶性 Mn 转化, 导致旱作稻株 Mn 素积累量明显下降。同时也说明旱种使陆稻的 Mn 素吸收不差于或好于水稻, 表现出陆稻在旱种条件下的优势。综上所述, 稻株 Mn 素营养吸收规律的差异不仅与水田和旱地土壤 Mn 素营养元素生物有效性密切相关, 而且还与品种特性密切相关。

本研究的旱作方式较为单一, 今后如能增加秸秆覆盖旱种的研究对发展节水型和可持续农业具有重要意义。采用秸秆还田并补充适量的 Mn 肥, 以维持并提高土壤中 Mn 素有效性。由于不同旱作方式不仅会带来土壤中有效 Mn 含量和有效 P 含量等发生不同程度的变化, 而且还会与其他微量元素如 Fe、Zn 和 Cu 等发生相互拮抗与协同作用, 这些变化肯定会影响稻株养分的吸收, 至于如何影响还有待于进一步研究。

4 结 论

1) 旱种不仅显著降低了产量(除水稻覆膜旱种产量较水种差异不显著之外), 而且还降低了稻株的含 Mn 量、Mn 素累积量和稻米中的含 Mn 量, 增加 Mn 素物质生产效率、Mn 素籽粒生产效率和 Mn 素收获指数, 旱种还可增加 Mn 素在稻株穗部

的分配比例。

2) 陆稻中早 3 号生育后期较水稻武香粳 99-8 稻株含 Mn 量提高 13.1%~20.6%, Mn 素收获指数增加, 但 Mn 素累积量减少 5.2%~9.6%, Mn 素籽粒生产效率降低。水种时中早 3 号稻米中 Mn 含量明显低于武香粳 99-8, 而旱种时则表现相反。旱种稻株对 Mn 素吸收利用因旱种方式和品种类型不同而有较大差异。

[参 考 文 献]

- [1] McHargue J S. The role of manganese in plants[J]. Journal of the Americal Chemistry Society, 1922, 44(7): 1592-1598.
- [2] 陈铭, 尹崇仁. 麦类作物锰营养的研究[J]. 土壤学进展, 1994, 22(2): 15-20.
Chen Ming, Yi chongren. Study on Mn nutrition of wheat crops[J]. Progress in Soil Science, 1994, 22(2): 15-20. (in Chinese with English abstract)
- [3] 吕世华, 张福锁. 水旱轮作田作物锰营养研究十年的回顾与展望[J]. 土壤农化通报, 1997, 12(1): 1-7.
Lü Shihua, Zhang Fusuo. Review and Prospect of ten years of rotation of manganese nutrition in field crops[J]. Soil Agrochemical Bulletin, 1997, 12(1): 1-7. (in Chinese with English abstract)
- [4] 张甘霖, 龚子同. 淹水条件下土壤中元素迁移的地球化学特征[J]. 土壤学报, 1993, 30(4): 355-365.
Zhang Ganlin, Gong Zitong. Geochemical characteristics of elemental migration in soils under submerged condition[J]. Acta Pedologica Sinica, 1993, 30(4): 355-365. (in Chinese with English abstract)
- [5] 吴名字, 张杨珠, 李顺义, 等. 水稻生育期间红壤性水稻土有效锰含量动态变化研究[J]. 农业现代化研究, 2009, 30(2): 229-233.
Wu Mingyu, Zhang Yangzhu, Li Shunyi, et al. Dynamic changes of available Mn content of paddy soil derived from red earth during rice growth in Hunan Province[J]. Research of Agricultural Modernization, 2009, 30(2): 229-233. (in Chinese with English abstract)
- [6] 张杨株, 吴名字, 李顺义, 等. 稻作制、有机肥和地下水位对红壤性水稻土全锰及不同形态有效锰含量的影响[J]. 农业现代化研究, 2008, 29(3): 357-360.
Zhang Yangzhu, Wu Mingyu, Li Shunyi, et al. Effects of various rice-based cropping systems, application rate of organic manure and groundwater levels on total Mn and available Mn in paddy soils of red earth[J]. Research of Agricultural Modernization, 2008, 29(3): 357-360. (in Chinese with English abstract)
- [7] Gotoh S, Patrick W H jr. Transformation of manganese in waterlogged soil as affected by redox potential and pH[J]. Soil Science Society of America Proceedings. 1972, 36(5): 738-742.
- [8] 刘学军, 吕世华, 张福锁, 等. 水肥状况对土壤剖面中锰的移动和水稻吸锰的影响[J]. 土壤学报, 1999, 36(3): 369-376.
Liu Xuejun, Lü Shihua, Zhang Fusuo, et al. Effect of water and fertilization on movement of manganese in soils and on its uptake by rice[J]. Acta Pedologica Sinica, 1999, 36(3): 369-376. (in Chinese with English abstract)
- [9] Lidon F C, Teixeira M G. Oxy radicals production and control in the chloroplast of Mn-treated rice[J]. Plant Science, 2000, 152: 7-15.

- [10] 吴照辉, 贺立源, 严昶, 等. 低磷胁迫对水稻铁、锰吸收和积累的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2010, 16(2): 185—191.
Wu Zhaohui, He Liyuan, Yan Chang, et al. Effect of Low phosphorus stress on Fe and Mn absorption and accumulation by rice shoots[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2010, 16(2): 185—191. (in Chinese with English abstract)
- [11] 钱晓晴, 王娟娟, 周明耀, 等. 不同水、氮供应条件下水稻锰营养状况研究[J]. 作物学报, 2006, 32(11): 1689—1694.
Qian Xiaqing, Wang Juanjuan, Zhou Mingyao, et al. Characteristics of manganese nutrition of rice (*Oryza sativa*L.) cultivated under different water and nitrogen management conditions[J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(11): 1689—1694. (in Chinese with English abstract)
- [12] Li B, Wang X, Qi X L, et al. Identification of rice cultivars with low brown rice mixed cadmium and lead contents and their interactions with the micronutrients iron, zinc, nickel and manganese[J]. Journal of Environmental Sciences, 2012, 24(10): 1790—1798.
- [13] Shahandeh H, Hossner L R, Turner F T. Phosphorus relationships to manganese and iron in rice soils[J]. Soil science, 2003, 168(7): 489—500.
- [14] Lidon F C, Barreiro M G, Ramalho J C. Manganese accumulation in rice: implications for photosynthetic functioning[J]. Journal of Plant Physiology, 2004, 161(11): 1235—1244.
- [15] 王甲辰, 张福锁. 早育缺锰水稻秧苗在大田生长发育特征比较研究[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(2): 56—59.
Wang Jiachen, Zhang Fusuo. Comparison of growing features in field by using manganese rice seedlings from dry nursery[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2002, 10(2): 56—59. (in Chinese with English abstract)
- [16] 张玉秀, 李林峰, 柴团耀, 等. 锰对植物毒害及植物耐锰机理研究进展[J]. 植物学报, 2010, 45(4): 506—520.
Zhang Yuxiu, Li Linfeng, Chai Tuanyao, et al. Mechanisms of manganese toxicity and manganese tolerance in plants[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2010, 45(4): 506—520. (in Chinese with English abstract)
- [17] Lidon F C, Teixeira M G, Teixeira. Rice tolerance to excess Mn: Implications in the chloroplast lamellae and synthesis of a novel Mn protein [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2000, 38(12): 969—978.
- [18] 覃都, 陈铭学, 周蓉, 等. 锰-镉互作对水稻生长和植株镉、锰含量的影响[J]. 中国水稻科学, 2010, 24(2): 189—195.
Qin Du, Chen Mingxue, Zhou Rong, et al. Effects of interaction between manganese and cadmium on plant growth and contents of cadmium and manganese in rice[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2010, 24(2): 189—195. (in Chinese with English abstract)
- [19] Liu J G, Li K Q, Xu J K, et al. Interaction of Cd and five mineral nutrients for uptake and accumulation in different rice cultivars and genotypes[J]. Field Crops Research, 2003b, 83(3): 271—281.
- [20] Jiang S L, Wu J G, Thang N B, et al. Genotypic variation of mineral elements contents in rice (*Oryza sativa* L.)[J]. European Food Research and Technology, 2008, 228(1): 115—122.
- [21] Liu J G, Cao C X, Wang M H, et al. Variations between rice cultivars in iron and manganese plaque on roots and the relation with plant cadmium uptake[J]. Journal of environmental sciences-china, 2010, 22(7): 1067—1072.
- [22] Bansal R L, Nayyar V K, Takkar P N. Field screening of wheat cultivars for manganese efficiency[J]. Field Crops Research, 1992, 29(2): 107—112.
- [23] Tao H B, Dittert K, Zhang L M, et al. Effects of soil water content on growth, tillering, and manganese uptake of lowland rice grown in the water-saving ground-cover rice-production system (GCRPS)[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2007, 170(1): 7—13.
- [24] 张亚洁, 林强森, 孙斌, 等. 种植方式对水稻和陆稻氮素吸收利用的影响[J]. 中国水稻科学, 2005, 19(6): 539—544.
Zhang Yajie, Lin Qiangsen, Sun Bin, et al. Effects of cultivation methods on nitrogen absorption and use efficiency of upland and paddy rice[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2005, 19(6): 539—544. (in Chinese with English abstract)
- [25] 张亚洁, 华晶晶, 李亚超, 等. 种植方式和磷素水平互作对陆稻和水稻产量及磷素利用的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(8): 1423—1431.
Zhang Yajie, Hua Jingjing, Li Yachao, et al. Effects of phosphorus nutrition on grain yield and phosphorus utilization of upland rice and paddy rice under different cultivation methods[J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(8): 1423—1431. (in Chinese with English abstract)
- [26] 张亚洁, 杨建昌, 杜斌. 种植方式对陆稻和水稻磷素吸收利用的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(1): 126—132.
Zhang Yajie, Yang Jianchang, Du Bin. Effects of cultivation methods on the absorption and use efficiency of phosphorus in upland rice and paddy rice[J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(1): 126—132. (in Chinese with English abstract)
- [27] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 中国农业科学出版社, 1999, 237—238, 331—333.
Lu Rukun. Analysis methods of soil and agricultural chemistry[M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1999, 237—238, 331—333. (in Chinese with English abstract)
- [28] 徐国伟, 王朋, 唐成, 等. 旱种方式对水稻产量与品质的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(1): 112—117.
Xu Guowei, Wang Peng, Tang Cheng, et al. Effect of dry-cultivation patterns on the yield and quality of rice[J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(1): 112—117. (in Chinese with English abstract)
- [29] 汤美玲, 程旺大, 姚海根, 等. 早稻直播覆膜旱作对灌浆成熟期根叶生理特性及产量的影响[J]. 中国水稻科学, 2005, 19(5): 475—478.
Tang Mei-ling, Cheng Wang-da, Yao Hai-gen et al. Effect of Direct-Seeded Dry Cultivation with Plastic Film Mulching on Physiological Characteristics of Root and Leaf at Grain-Filling Stage and Grain Yield in Early-Season Indica Rice[J]. , 2005, 19(5): 475—478. (in Chinese with English abstract)
- [30] 梁永超, 胡锋, 杨茂成, 等. 水稻覆膜旱作高产节水机理研究[J]. 中国农业科学, 1999, 32(1): 26—32.
Liang Yongcao, Hu Feng, Yang Maocheng, et al. Mechanisms of high yield and irrigation water use efficiency of rice in plastic film mulched dryland[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1999, 32(1): 26—32. (in Chinese with English abstract)
- [31] 杨静, 刘彦伶, 吴良欢, 等. 传统水作及覆膜旱作下包膜控释尿素对水稻产量及氮肥利用率的影响[J]. 浙江农业学报, 2012, 24(3): 368—372.

- Yang Jing, Liu Yanling, Wu Lianghuan, et al. Effects of controlled-release coated urea on grain yields and nitrogen use efficiencies of rice under traditional flooding cultivation and non-flooded plastic film mulching cultivation[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2012, 24(3): 368–372. (in Chinese with English abstract)
- [32] 程旺大, 赵国平, 张国平, 等. 水稻和陆稻籽粒灌浆特性的比较[J]. *中国水稻科学*, 2002, 16(4): 335–340. Cheng Wangda, Zhao Guoping, Zhang Guoping, et al. Comparison on the grain-filling properties of paddy rice and upland rice[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2002, 16(4): 335–340. (in Chinese with English abstract)
- [33] 张亚洁, 陈海继, 刁广华, 等. 种植方式对陆稻(中旱 3 号)和水稻(武香粳 99-8)生长特性和产量形成的影响[J]. *江苏农业学报*, 2006, 22(3): 205–211. Zhang Yajie, Chen Haiji, Diao Guanghua, et al. Effects of cultivation methods on the growth characteristics and yield formation in upland and paddy rice[J]. *Jiangsu of Journal Agricultural Sciences*, 2006, 22(3): 205–211. (in Chinese with English abstract)
- [34] Los Banos. International Rice Research Institute Annual Report for 1964[R]. Philippines: International Rice Research Institute, 1964: 335.
- [35] Yoshida S. Factors that limit the growth and yields of upland rice in major research in upland rice[M]. Philippines: International Rice Research Institute, 1975: 46–71.
- [36] 谢光辉, 王素英, 王化琪, 等. 旱稻矿质养分吸收与施肥效应[J]. *中国农业科学*, 2003, 36(10): 1171–1176. Xie Guanghui, Wang Suying, Wang Huaqi, et al. Mineral nutrition uptake and fertilization effects of upland rice[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(10): 1171–1176. (in Chinese with English abstract)

Plastic film mulching cultivation decrease absorption of manganese and improve its use efficiency in upland and paddy rice

Zhang Yajie, Shi Qiaqia, Wang Zhensheng, Hua Jingjing,
Zheng Liping, Dong Cunhao, Yang Jianchang*

(Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province, College of Agriculture, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: To meet the challenge of drought in China, water-saving techniques have been developed and applied in rice (*Oryza sativa* L.) growing areas since the last decade of 20th century, such as the dry-cultivated technique for paddy rice and the acreages of upland rice in rained areas, which has played a positive role in stabilizing and promoting food production. Manganese (Mn) as a trace element is both essential for rice growth and the essential trace elements in the human body. However, the effect of cultivation patterns on Mn absorption and use efficiency of upland and paddy rice rarely has been reported. The objective of this study was to evaluate the difference between upland rice cultivar Zhonghan3 (*japonica*) and paddy rice cultivar Wuxiangjing99-8 (*japonica*) which were grown in the farm of the Yangzhou University under three cultivation patterns of moist cultivation (MC, control), plastic film mulching cultivation (PFMC), and bare cultivation (BC). The MC was based on conventional irrigation for high-yielding rice production, that is, keeping a water layer in the field from transplanting to regreening, alternating wet and dry soils during the other growth periods, and stopping the water supply one week before harvest. The total quantity of irrigation was $5,213 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. In the PFMC treatment, the field was dry-plowed, and then, the beds (1.5 m in width) were made and mulched, the beds were fully watered from transplanting to one week after transplantation while the plants were alive. The DC treatment was the same as the PFMC treatment, except for not mulching before transplanting. Totally, water of $723 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ was supplied at the vigorous tillering, booting, and heading stages, and no water was irrigated during the other growth periods. From heading to maturity, the soil moisture was monitored by tensiometers that were installed in the field. The soil water potential was normally at -15 to -25 kPa. The results showed that, compared with the MC, the grain yield was significantly lower by 9.0% under PFMC for upland rice, but no significant difference was found between PFMC and MC for paddy rice, and grain yield was significantly reduced by 11.7% and 8.0% under BC for both upland and paddy rice. Dry cultivation lowered the Mn content in plants and in grain under PFMC and BC and lowered the amount of Mn absorption in plants, resulting in higher Mn use efficiency of matter production (MUEp), higher Mn use efficiency of grain yield production (MUEg) and Mn harvest index (MHI). The proportion of Mn in leaves and sheaths were both disordered and in ears increased under dry cultivation for Zhonghan3 and Wuxiangjing99-8. Compared with Wuxiangjing99-8, Zhonghan3 exhibited higher Mn concentration by 13.1–20.6% from heading to maturity, lowered Mn accumulation in plants by 5.2%–9.6% at the later growth stage, lowered MUEp and MUEg and resulted in higher MHI. The Mn content in grain was significantly lower for Zhonghan3 than for Wuxiangjing 99-8 under moist cultivation, but it showed the opposite under dry cultivation. The results suggest that the effect of dry cultivation on the absorption and use efficiency of Mn varies largely with the cultivation patterns and variety types.

Key words: manganese, absorption, films, upland rice, paddy rice, dry cultivation

(责任编辑: 秦学敏)