

锰肥在水稻上的应用研究进展

尹晓辉^{1,2} 邹慧玲^{1,2,3} 方雅瑜^{1,2} 陈楠^{1,2} 杨登^{1,2} 魏祥东^{1,2*}

(¹ 湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128; ² 湖南农业大学南方稻田重金属污染防治协同创新中心, 长沙 410128; ³ 湖南农业大学图书馆, 长沙 410128; 第一作者: 369333465@qq.com; * 通讯作者: xiangdongw@126.com)

摘要:总结了国内外锰肥在水稻上的应用概况,以及锰在水土中的存在形式、锰对水稻的生理作用及对产量的影响,并对锰肥在水稻上的应用研究进行了展望。

关键词:锰;水稻;研究进展

中图分类号:S511 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8082(2016)04-0039-04

锰是水稻生长不可缺少的微量营养元素,水稻缺锰将导致生长发育异常,分蘖数、成穗率、穗粒数、千粒重和产量均低于正常水稻^[1]。影响土壤中锰含量的因素主要有土壤 pH 值(pH=6.5 为界限)、土壤质地、氧化还原电位、湿度、有机质含量、通气状况、有机质和粘粒含量^[2-3]。在水稻生理功能上,锰还是影响水稻光合作用、影响水的光解和电子的传递、调节酶的活性、促进氮素代谢、调节植物体内氧化还原状况、促进种子萌发和幼苗生长的重要因素^[4-5]。笔者对近年来国内外锰肥在水稻上的应用研究情况进行了归纳小结,并对未来的研究方向进行了展望。

1 锰肥的发展历史

1774 年,瑞典的甘恩用软锰矿和木炭在坩埚中共热,发现一纽扣大的锰粒。1922 年,锰被确定为植物营养所必须的元素。1967 年,日本科学家利用电解二氧化锰的废渣生产锰肥并应用在作物上,改善了植物的生长,肯定了锰对作物的重要性。在此之后,邓建奇等^[6]借鉴日本先进技术经验,开发并设计了年产 6 万 t 的锰肥生产装置,1979 年第 1 次在缺锰严重的小麦上施叶面锰肥,结果显示,施锰小麦产量比未施的增产 34%~77%,继而又在水稻、棉花、玉米、甘薯、青椒、生菜、番茄、大豆、花生、芹菜、四季桂、油菜、夏高粱、柑橘等一系列作物上应用。据统计,四川、山西、北京、江苏、湖南、安徽、陕西、新疆、河南等省对耕地施用锰肥,施用后作物增产明显:水稻增 8.9%、番茄增 6.5%、棉花增 15.0%、玉米增 13.0%、甘薯增 8.0%、生菜增 50.0%、花生增 20.0%、孜然芹增 46.0%、夏高粱增 8.3%、大豆增 21.5%;施用锰肥不仅可以提高水稻产量,还能够缓解水稻亚铁毒害。从经济效益来看,锰肥的投入产出比达到 1:20。

长期以来由于大量施用化肥导致土壤中有效锰逐年降低,缺锰问题日益突出。补充土壤中的锰有 2 条途径:一是在低淹水条件下,氧化还原电位(Eh)降低,土壤中的锰被还原成二价的锰存在^[7];二是人为施锰肥。刘学军等^[8]研究表明,在长期淹水条件下,土壤中的锰被氧化还原,锰会在土壤层 20~70 cm 处形成深层淋溶与淀积,而在 0~20 cm 耕作层的全锰、活性锰和交换态锰则会显著下降,所以施用锰肥成为土壤补充锰的主要方式。

2 水、土壤环境中的锰

2.1 灌溉水中的锰

锰在水中主要以二价锰离子存在,正常情况下,灌溉水中的锰浓度在 20 mg/kg 以下对水稻生长有促进作用,达到 200 mg/kg 时水稻的生长则会受到抑制,当浓度达 400 mg/kg 以上,水稻明显减产,出现锰中毒现象。池钜庆等^[9-10]研究表明,在水稻盆栽试验中,水稻各生育期的 pH 值、土壤中水溶性锰和交换性锰、水稻植株的锰含量以及水稻产量均随着灌溉水中的锰浓度增加而降低,灌溉水中锰浓度在 20~60 mg/kg 时对水稻增产显著。

2.2 土壤中的锰

土壤中的有效锰因土壤类型和土壤深度的不同而变化,但外部条件的改变也会对土壤有效锰产生很大影响。氧化还原电位对土壤锰的影响:在渍水环境下,氧化还原电位降低,有效锰增加。pH 值对土壤锰的影

收稿日期:2016-02-25

基金项目:国家自然科学基金(4121511);湖南省自然科学基金(08JJ6018);湖南省教育厅青年基金(12B059);湖南省农业厅项目(2014137)

响: pH 值在 6.5 以下, 土壤锰含量大, 反之则小^[11-12], 也有研究认为, pH 值大于 6.5 时, 土壤有效锰反而增加, 分析其原因可能与土壤氧化还原状态和淋溶作用有关。在渍水条件下, 土壤内部氧气缺压, Mn^{3+} 被还原成 Mn^{2+} , 增加了土壤有效锰含量^[13-14]。蒲玉琳等研究表明, 有效锰与 pH 值呈极显著负相关, 即锰在不同的 pH 值范围内, 其有效锰的含量是不同的, 锰在 pH 值为 5.2~6.5 时有效性较高, 在 6.0 时最高, pH 值小于 6.0 时, 土壤有效锰含量随 pH 值的降低而减少, pH 值大于 6.0 时, 土壤有效锰随 pH 值的增加而减少。有机质对土壤锰的影响: 一般土壤有效锰的含量会随有机质的增加而增加, 呈高度的正相关^[15-16], 因为土壤中的有机质能够增加交换态锰的含量, 其次络合作用能够增加有机态锰的含量, 成为酸性土壤有效锰的来源之一^[17]。

3 锰对水稻生理作用的影响

3.1 锰对水稻叶片的影响

锰不但是构成叶绿体的一部分, 而且还直接参与光合作用释放氧气, 使叶片出现枯黄。有研究表明, 水稻施用锰肥后, 锰直接参与光合作用中水裂解放氧过程, 在光合系统 II 的水氧化放氧系统中参与水的分解, 锰充当了氧化还原作用, 自身被光合水解酶氧化成 Mn^{3+} , 提高了细胞内的氧化还原电位, 部分细胞成分被氧化, 使每 2 个 H_2O 裂解生成一分子的 O_2 和 4 个电子^[18-19]。水稻对锰的吸收受外界因素影响很大, 以 pH 值 6.5 为界, 大于这个值则吸收受到抑制, 反之则促进。石塚等研究表明, 当水稻叶片中的锰浓度达到 1 000 mg/kg 以上时, 则会导致水稻锰过剩; 而镰田等研究表明, 叶片中锰浓度在 3 000~4 000 mg/kg 时, 对水稻产量没有影响; 但刘俭等^[20]研究表明, 叶片中锰浓度达到 1 500 mg/kg 时, 水稻产量降低。出现上述三种结果, 可能是因水稻品种、外界气温、土壤性质和日照等不同而导致。

3.2 锰对水稻根系的影响

水稻之所以会出现“黄化病”, 与水稻根系密切相关, 其原因是因为土壤中锰、铁、锰营养平衡失调, 无法在根系表面形成保护膜, 导致水稻发育受阻, 产量降低。研究表明, 水稻根部在泌氧作用下土壤中大量还原性物质 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 被氧化, 在根表和质外体被氧化而形成一层清晰可见的铁锰氧化物胶膜^[21], 由于这层铁锰氧化胶膜有特殊的电化学性质, 它对土壤中 Cd^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Hg^{2+} 、 Pb^{2+} 等重金属离子具有强烈的吸附解析作用^[22-24], 因此, 对阻挡重金属离子进入水稻起着至关重要的作

用^[25]。

3.3 丰缺锰对水稻的影响

水稻之所以会出现锰中毒现象, 是因为水稻生长介质中锰过多, 这直接导致铁锰膜的比值下降^[26], 铁锰平衡被打破, 光氧化过程会使 Mn^{2+} 加快向 Mn^{3+} 转化, 减少了叶绿素 a 和叶绿素 b 的含量和组成, 导致光合作用活性中心和光能传导受到抑制, 使得水稻叶片光合作用不足而出现叶片失绿症状^[27]。过量的锰会抑制光合作用活性中心和光能传导, 降低蛋白质和叶绿体蛋白的合成^[28]。

水稻缺锰多发生在碱性环境下, 施用石灰、钾肥等会使土壤中有效锰降低, 最终出现缺锰症状。缺锰最直观的现象是叶片失绿并伴有褐色斑点, 叶片比正常水稻要薄, 生长发育缓慢, 植株矮小, 分蘖数减少, 得病几率升高, 最终导致减产^[29]。幼苗期缺锰则植株生长差, 干物质质量轻, 容易诱发水稻畸形, 抽穗期不能正常抽穗, 成熟期干瘪率增加。何永梅^[30]研究表明, 水稻叶片中锰含量低于 20 mg/kg 时, 容易发生缺锰症状。

3.4 锰的酶活性对水稻的影响

在酶活性方面, 锰主要作为活化剂和参与酶催化系统, 据数据显示, 锰是 36 种酶的活化剂和 3 种酶的成分^[31], 可直接参与 CAT、POD 酶体系中的活动, 并防止水稻叶片衰老黄化, 参与一系列的酶触反应, 如磷酸化作用、脱羧基作用、还原反应和水解反应等。同时, 酶还是辅因子, 对水稻的呼吸作用、氨基酸和木质素的合成至关重要。锰在水稻育种期, 刺激生长素的合成, 不仅可以促进种子的发芽, 还能在生长发育过程中使秧苗变得更加粗壮。

4 施用锰肥对水稻产量的影响

施用锰肥主要是通过水稻的株高、有效穗数、颖花数和结实率来实现增产, 使水稻植株粗壮, 提高水稻产量, 其中株高增加最为显著^[32]。全国土壤锰平均值为 710 mg/kg, 不同的土壤类型锰含量差别很大, 其中, 河流冲积土、酸性土含锰量相对较高, 石灰性土、紫色砂岩土全锰含量较低。祁明等^[33]研究表明, 在黄土母质、山河冲积土、第四纪红色粘土上施用锰肥, 对水稻产量的增幅有明显效果, 其中增幅最大的是黄土母质, 平均增产 14.6%, 另外山河冲积土平均增产 10.1%, 第四纪红色粘土平均增产 4.9%。水稻分蘖盛期、孕穗期、灌浆期喷施叶面锰肥, 水稻的吸锰效果最好。林志荣^[35]研究表明, 在 pH 值为 4.1~5.0 条件下喷施叶面硫酸锰肥,

比相对缺锰的水稻田有 10.8% 的增产效果。

5 小结与展望

水稻吸收锰跟土壤中的有效锰有着直接的关系, 土壤中的有效锰含量直接决定了植物中锰的吸收量, 但在耕作层, 全锰、有效锰含量不稳定, 容易流失。因此, 人为施锰也是补充土壤中锰含量的重要因素。除了以上两种主要方式, 灌溉水中的锰虽然不多, 但也是为水稻提供锰的一种途径。土壤中的锰环境十分复杂, 影响土壤中锰的因素主要是 pH 值、Eh、有机质等, 这些因素受外界条件影响很大, 因此具有不稳定性。往往土壤中出现过多或过少的锰时, 会导致水稻根系平衡被打破, 其次影响叶片中的光合效率以及水稻的生长发育, 导致病害发生。虽然研究锰肥对植物影响的报道已经比较深入了, 但在水稻上的应用研究还比较欠缺。如何更好的将锰肥用于水稻, 提高水稻的产量和品质, 降低水稻对镉的吸收积累等方面还有待进一步的研究与探讨。

参考文献

- [1] 王甲辰, 张福锁, 吕世华, 等. 旱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.
- [2] 李孝良, 倪进娟, 陈效民, 等. 安徽省水稻土中锰形态及其影响因素研究[J]. 土壤通报, 2010(6): 1333-1338.
- [3] 钱晓晴, 王娟娟, 周明耀, 等. 不同水、氮供应条件下水稻锰素养养状况研究[J]. 作物学报, 2006, 32(11): 1689-1694.
- [4] 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.
- [5] 胡思农, 华文清, 卢明, 等. 温江地区石灰性土壤上小麦锰肥试验研究[J]. 土壤, 1981(3): 22-25.
- [6] 邓建奇. 利用废锰渣制造锰肥的工艺 [J]. 磷肥与复肥, 1997, 12(3): 14-16.
- [7] 自由路. 植物营养与肥料[M]. 北京: 农业出版社, 1991: 96-97.
- [8] 刘学军, 廖晓勇, 张扬珠, 等. 不同稻作制对红壤性水稻土中锰剖面分布的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1440-1445.
- [9] 池钜庆, 邓家祐, 谭秀芳, 等. 污灌水中锰对水稻生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 1988, 7(5): 18-20.
- [10] 日本土壤肥料学会. Soil science and plant nutrition [M]. Society of the Science of Soil and Manure, Japan, 1961.
- [11] 王小兵, 周冀衡, 李强, 等. 曲靖不同 pH 烟区土壤有效锰和烟叶锰含量的分布状况分析[J]. 土壤通报, 2013, 44(4): 969-973.
- [12] 安振锋, 方正. 植物锰营养研究进展[J]. 河北农业科学, 2002, 6(4): 35-41.
- [13] 祁明, 吴秀芳. 施用锰肥提高小麦保水能力 [J]. 中国农学通报, 1985(4): 24.
- [14] 蒲玉琳, 龙高飞, 苟文平, 等. 西藏土壤有效锰含量及其影响因素分析[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2010, 35(6): 163-168.
- [15] 刘学军, 吕世华. 土壤中锰的化学行为及其生物有效性[J]. 土壤农化通报, 1997, 12(3): 41-47.
- [16] 杨娟, 王冬艳. 吉林省土壤中有效锰、铜、钼和锌含量的时空变化[J]. 世界地质, 2003, 22(4): 392-395.
- [17] 丁维新. 土壤中锰赋存形态的地域性差异研究[J]. 长江流域资源与环境, 1995(1): 38-44.
- [18] 邹邦基, 何雪晖. 植物的营养[M]. 北京: 农业出版社, 1985: 242-245.
- [19] 施益华, 刘鹏. 锰在植物体内生理功能研究进展[J]. 江西林业科技, 2003(2): 26-28.
- [20] 刘俭. 锰过剩对水稻的影响与对策[J]. 天津农林科技, 1990(3): 17.
- [21] Conlin T S S, Crowder A A. Location of radial oxygen loss and zones of potential iron uptake in a grass and two nongrass emergent species [J]. *Can J Bot*, 1989, 67(3): 717-722.
- [22] Liu W J, Zhu Y G, Smith F A. Effects of iron and manganese plaques on arsenic uptake by rice seedlings (*Oryza sativa* L.) grown in solution culture supplied with arsenate and arsenite [J]. *Plant Soil*, 2005, 277(1-2): 127-138.
- [23] Zhu Y G, Sun G X, Lei M, et al. High percentage inorganic arsenic content of mining impacted and nonimpacted Chinese rice [J]. *Environ Sci Technol*, 2008, 42(13): 5008-5013.
- [24] Xu W, Wang H, Liu R, et al. Arsenic release from arsenic-bearing Fe - Mn binary oxide: Effects of Eh condition [J]. *Chemosphere*, 2011, 83(7): 1020-1027.
- [25] 刘敏超, 李花粉, 夏立江, 等. 根表铁锰氧化物胶膜对不同品种水稻吸镉的影响[J]. 生态学报, 2001, 21(4): 598-602.
- [26] 陆申年. 菠萝的铁锰平衡及铁肥施用 [J]. 广西农学院学报, 1988, 7(2): 21-24.
- [27] 黎晓峰, 顾明华. 水稻锰毒与铁素营养关系的研究[J]. 广西农业大学学报, 1996(3): 190-194.
- [28] 马斯纳 H. 高等植物的矿质营养[M]. 曹一平, 陆景陵, 译. 北京: 北京农业大学出版社, 1991: 110-113.
- [29] Shuman L M, Hargrove W L. Effect of tillage on the distribution of manganese, copper, iron, and zinc in soil fractions [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1985, 49(5): 1117-1121.
- [30] 何永梅, 谢梦纯. 水稻缺锰原因与锰肥施用技术 [J]. 科学种养, 2013(6): 36-36.
- [31] Burnell J N. The biochemistry of manganese in plants[M]. Manganese in soils and plants. *Springer Netherlands*, 1988: 125-137.
- [32] 六本木和夫, 蒋健容. 施用锰肥对水稻异常生育的改良效果[J]. 日本土壤肥料科学杂志, 1987(5): 616-618.
- [33] 祁明, 吴秀芳, 季鼎春, 等. 安庆地区水稻土锰素丰缺状况及其肥效的研究[J]. 安徽农业科学, 1987, 34(4): 45-52.
- [34] 林志荣. 水稻喷施锰肥的增产效果[J]. 广东农业科学, 1983(6): 30-31.

(下转第 45 页)

同。因此,今后食味品尝试验过程中,还要加强品尝人员的训练,提高品尝结果的准确性和可靠性。

参考文献

- [1] 崔晶,楠谷彰人,松江勇次,等.中日合作水稻品质·食味研究的现状和展望[J].北方水稻,2011,41(4):1-6.
- [2] 汤帮耀,谭荣贵,王惠群,等.有机转换水稻生产栽培技术规范研究[J].湖北农业科学,2015,54(24):6 141-6 144.
- [3] 刘伟忠,刘亚柏,张建英,等.越光水稻有机栽培标准化技术[J].江苏农业科学,2009(5):90-91.
- [4] Singh Y V. Crop and water productivity as influenced by rice cultivation methods under organic and inorganic sources of nutrient supply[J]. *Paddy Water Environ*, 2013, 11(11): 531-542.
- [5] Shao J A, Li Y B, Wei C F, et al. Effects of land management practices on labile organic carbon fractions in rice cultivation [J]. *Chin Geogra Sci*, 2009, 19(3): 241-248.
- [6] 程方民,刘正辉,张嵩午.稻米品质形成的气候生态条件评价及我国地域分布规律[J].生态学报,2002,22(5):636-642.
- [7] 孟亚利,周治国.结实期温度与稻米品质的关系[J].中国水稻科学,1997,11(1):51-54.
- [8] 任万军,杨文钰,徐精文,等.弱光对水稻籽粒生长及品质的影响[J].作物学报,2003,29(5):785-790.
- [9] 居静,吴海波,陈永林,等.日本产包膜控释氮肥对稻米品质的影响[J].江苏农业科学,2015,43(2):67-70.
- [10] 陈莹莹,胡星星,陈京都,等.氮肥水平对江苏早熟晚稻粮食品质

质的影响及其品种间差异 [J]. 作物学报, 2012, 38 (11): 2 086 - 2 092.

- [11] 叶全宝, 张洪程, 李华, 等. 施氮水平和栽插密度对粳稻淀粉 RVA 谱特性的影响[J]. 作物学报, 2005, 31(1): 124-130.
- [12] 金正勋, 秋太权, 孙艳丽, 等. 氮肥对稻米垩白及蒸煮食味品质特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(1): 31-35.
- [13] 潘圣刚, 翟晶, 曹凑贵, 等. 氮肥运筹对水稻养分吸收特性及稻米品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 522-527.
- [14] Ning H F, Liu Z H, Wang Q S, et al. Effect of nitrogen fertilizer application on grain phytic acid and protein concentrations in *japonica* rice and its variations with genotypes [J]. *J Cereal Sci*, 2009, 50(1): 49-55.
- [15] 赵秀哲, 王成瑗, 赵磊, 等. 不同生育时期追施有机肥对有机水稻产量及品质的影响[J]. 吉林农业科学, 2015, 40(6): 13-16, 112.
- [16] 莫惠栋. 我国稻米品质的改良[J]. 中国水稻科学, 1993, 7(4): 8-14.
- [17] 赵镭洛, 张云江, 王继馨, 等. 日本北海道优质稻米最新栽培技术[J]. 黑龙江农业科学, 2002(3): 49-51.
- [18] 崔晶, 楠谷彰人, 赵居生, 等. 中水稻食味特性的研究[J]. 天津农业科学, 2001, 7(4): 19-23.
- [19] 张玉华. 稻米直链淀粉含量及其影响因素研究[J]. 黑龙江农业科学, 2002(3): 34-37.
- [20] 徐正进, 范淑秀, 潘国君, 等. 黑龙江水稻食味和其他品质性状的变化及其相互关系[J]. 中国稻米, 2010(4): 15-18.

Effects of Organic Fertilizers on Quality and Palatability of Rice

CHEN Shuaijun¹, BIAN Jiabin^{1,2,3*}, DING Deliang^{1,3}, CUI Jing^{2,3}

(¹ Department of Agronomy, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China; ² Science and Technology Department, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China; ³ China–Japan Joint Center on Palatability and Quality of Rice in Tianjin, Tianjin 300384, China; 1st author: 86895955@qq.com; *Corresponding author: bjb20042002@163.com)

Abstract: The qualities and palatability of rice under organic fertilizer processing methods were discussed in this study, with 11 varieties from north part of China as materials. The results showed that there was no significant effect on the appearance quality of rice for different organic fertilizers, but the value of organic fertilizer was higher than that of the conventional treatment. With wine waste treatment, the head rice rate was the highest, chalky grain rate and chalkiness degree were the lowest. There was no significant difference among treatment in terms of palatability, including protein content, amylose content and RVA characteristics, except for palatability characteristics value and taste on sensory test. Rice bran treatment was superior to other treatments in palatability characteristics and taste on sensory test. Protein content was the lowest on rice bran treatment. Amylose content was the lowest on conventional cultivation.

Key words: rice; organic fertilizers; quality; palatability

(上接第41页)

Research Progress of Manganese Fertilizer on Rice

YIN Xiaohui^{1,2}, ZOU Huiling^{1,2,3}, FANG Yayu^{1,2}, CHEN Nan^{1,2}, YANG Deng^{1,2}, WEI Xiangdong^{1,2}

(¹ College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; ² South Regional Collaborative Innovation Center for Heavy Metals Control in Rice Fields, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; ³ Library of Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 1st author: 369333465@qq.com; *Corresponding author: xiangdongw@126.com)

Abstract: The application of manganese fertilizer on rice at home and abroad, the form of manganese in water and soil, physiological effects and the influence of manganese on rice yield were summarized in this paper. Besides, the developing prospect of manganese fertilizer was proposed.

Key words: manganese; rice; research progress