

铁肥与氮磷钾配施对水稻籽粒铁积累的影响

康 敏¹, 龚建华^{1*}, 邓建红², 文 斌¹, 邓雅文¹

¹株洲市农业科学研究所, 湖南 株洲

²株洲香之优农业科技发展有限责任公司, 湖南 株洲

收稿日期: 2021年10月23日; 录用日期: 2021年11月19日; 发布日期: 2021年11月26日

摘 要

铁(Fe)是人体必需的微量元素, 通过富铁品种选育和铁肥施用技术提高农产品的铁含量, 是解决缺铁而引起疾病的一种有效方法。水稻作为生产最可靠、效率最高、食用最方便的粮食作物, 提高稻米尤其是精米的铁含量具有重要意义。本研究以硫酸亚铁为铁源, 配合施用磷酸二氢钾和尿素叶面肥, 通过小区试验筛选出最佳铁肥浓度, 以期富铁稻米生产提供科学依据。结果表明: 1) 铁肥与氮磷钾叶面肥配施能显著提高稻米铁含量, 其中: 精米处理较对照提高68.08%, 糙米处理较对照提高50.58%。2) 各处理间精米铁含量差异显著($P < 0.05$, 下同), 以3%硫酸亚铁早施的富铁效果最好。3) 早施(扬花前7天左右)的富铁效果显著优于迟施(扬花后3天左右)。早施的三个处理组合精米铁含量达6.01~6.87 mg/kg, 迟施的三个处理组合精米铁含量为4.73~5.68 mg/kg, 平均精米铁含量早施较迟施提高21.5%, 差异达显著水平($t = 0.007$)。4) 精米铁含量与糙米铁含量比值平均为84%, 处理较对照提高9个百分点, 说明该方法促进了铁元素向胚乳的转运与积累。5) 铁肥与氮磷钾叶面肥配施能显著提高水稻产量, 以2%硫酸亚铁早施的增产效果最好。

关键词

水稻, 硫酸亚铁, 氮磷钾叶面肥, 精米, 铁积累

Effects on Combined Application of Iron Fertilizer, Nitrogen, Phosphorus and Potassium on Iron Accumulation in Rice Grains

Min Kang¹, Jianhua Gong^{1*}, Jianhong Deng², Bin Wen¹, Yawen Deng¹

¹Zhuzhou Institute of Agricultural Sciences, Zhuzhou Hunan

²Zhuzhou Xiangzhiyou Agricultural Technology Development Co., Ltd., Zhuzhou Hunan

*通讯作者。

文章引用: 康敏, 龚建华, 邓建红, 文斌, 邓雅文. 铁肥与氮磷钾配施对水稻籽粒铁积累的影响[J]. 农业科学, 2021, 11(11): 1022-1027. DOI: 10.12677/hjas.2021.1111138

Abstract

Iron (Fe) is an essential trace element for human body. Improving the iron content of agricultural products through iron rich variety breeding and iron fertilizer application technology is an effective method to solve the diseases caused by iron deficiency. Rice is the most reliable, efficient and convenient food crop. It is of great significance to improve the iron content of rice, especially milled rice. In this study, ferrous sulfate was used as iron source, combined with potassium dihydrogen phosphate and urea leaf fertilizer. The best concentration of iron fertilizer was selected through plot test, in order to provide scientific basis for iron rich rice production. The results showed that: 1) the combined application of iron fertilizer and NPK leaf fertilizer could significantly improve the iron content of rice. Among them, the iron content of milled rice treatment was 68.08% higher than that of the control, and that of brown rice treatment was 50.58% higher than that of the control. 2) There was significant difference in iron content of milled rice among treatments ($P < 0.05$, the same below). The effect of early application of 3% ferrous sulfate was the best. 3) The iron enrichment effect of early application (about 7 days before flowering) was significantly better than that of late application (about 3 days after flowering). The iron content of milled rice of the three combinations of early application was 6.01~6.87 mg/kg, and that of the three combinations of late application was 4.73~5.68 mg/kg. The average iron content of milled rice increased by 21.5% compared with that of late application ($t = 0.007$). 4) The average ratio of iron content in milled rice to that in brown rice was 84%, which was 9% higher than that in the control, indicating that this method promoted the transport and accumulation of iron to endosperm. 5) The combined application of iron fertilizer and NPK leaf fertilizer can significantly improve rice yield, and the early application of 2% ferrous sulfate has the best effect.

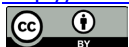
Keywords

Rice, Ferrous Sulfate, NPK Leaf Fertilizer, Milled Rice, Iron Accumulation

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

铁(Fe)是人体必需微量元素。铁在人体必需微量元素中含量是最高的,它参与人体内血红蛋白、肌红蛋白、细胞色素、含铁酶的合成,关系着肌体细胞氧和二氧化碳的运输与交换[1]。人体缺铁会引起贫血,免疫机制受损,抵抗力减弱,容易感染疾病,增加疲劳感以及使工作效率下降等[2]。WHO 数据显示,世界上有近 37 亿人口缺铁,缺铁已成为影响世界上 30%人口的严重营养问题,尤其是那些以植物性食物为主要食品的地区和地区[3]。水稻作为生产最可靠、效率最高、食用最方便的粮食作物,全球有 20 亿以上的人口以稻米为主食。因此,提高稻米中铁含量,是解决缺铁而引起疾病的一种有效方法[4]。

俄胜哲等[5]研究表明,调节氮、磷、钾肥田间施用水平可显著改变稻米中铁含量。吴忠坤[1]研究表明,通过调节氮磷钾肥与铁肥配比以及施用时期来刺激水稻对铁素营养的强化吸收,精米铁含量较对照提高了 20%~137.78%。由于稻谷中的铁主要集中于糠壳、种皮和胚中,稻谷经剥壳、去糙、抛光等工序加工成精米后,其铁元素流失严重,仅剩下 10%的铁含量。因此,提高稻米胚乳铁含量,既是富铁稻米

生产的核心技术，也是需要攻克的一项关键技术瓶颈。

本研究以长粒型优质稻品种巴期马蒂、浓香 32、浓香 18、黄华粘和黑糯稻为研究对象，从水稻各营养离子互作效应和水稻生育期间铁素营养吸收速率变化规律入手，在水稻生长发育的特定时期配施不同浓度的硫酸亚铁、磷酸二氢钾和尿素等叶面肥，以期提高稻米胚乳铁含量，为富铁稻米生产提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

供试品种：BASMATI RICE (巴斯马蒂)、浓香 32、浓香 18、黄华粘和黑糯稻。

供试铁肥：FeSO₄·7H₂O (硫酸亚铁，Fe 含量为 20.1%，分析纯)。

2.2. 试验设计

小区试验：试验土壤为壤土，前作为水稻，土壤铁含量为 209.9 mg/kg。水稻品种为巴斯马蒂，于 2019 年 6 月 25 号播种，7 月 20 号移栽。栽培密度为 25 cm × 28 cm，每小区栽 200 株，小区面积 14 m²，试验设硫酸亚铁浓度(A)和施用时期(B)两个因素，A 因素设 2% (A1)、3% (A2)、4% (A3)三个水平，B 因素设早施(B1)与迟施(B2)两个水平，以不施硫酸亚铁为对照(表 1)。随机区组设计，三次重复，区组间设 1 m 宽的隔离行，同一区组的小区间间隔 50 cm。各处理第一次喷施时配施 0.5%尿素，第二次喷施时配施 1%磷酸二氢钾；且先喷施硫酸亚铁，1~2 小时后再喷施磷酸二氢钾，二者不可混合施用。各处理用水量：第一次按 30 kg/亩、第二次为 37.5 kg/亩的标准计算。

Table 1. Test design table of combined application of iron fertilizer and NPK leaf fertilizer

表 1. 铁肥与氮磷钾叶面肥配施小区试验设计表

编号	处理		施肥时间
A1B1	2%硫酸亚铁 + 0.5%尿素	早	8 月 19 日、8 月 28 日
A1B2	2%硫酸亚铁 + 1%磷酸二氢钾	迟	8 月 28 日、9 月 5 日
A2B1	3%硫酸亚铁 + 0.5%尿素	早	8 月 19 日、8 月 28 日
A2B2	3%硫酸亚铁 + 1%磷酸二氢钾	迟	8 月 28 日、9 月 5 日
A3B1	4%硫酸亚铁 + 0.5%尿素	早	8 月 19 日、8 月 28 日
A3B2	4%硫酸亚铁 + 1%磷酸二氢钾	迟	8 月 28 日、9 月 5 日

生产试验：在醴陵市枫林镇隆兴坳村开展水稻富铁大田生产试验 20 亩，试验品种为浓香 32、浓香 18 和黑糯稻，土壤铁含量为 173.45 mg/kg。在芦淞区白关镇楠木山村开展富铁大田生产试验 20 亩，试验品种为黄华粘，土壤铁含量为 276 mg/kg。硫酸亚铁浓度为 4%，施用时期为齐穗期和灌浆初期，第一次喷施时配施 0.5%尿素，第二次喷施时配施 1%磷酸二氢钾。第一次用水量为 30 kg/亩、第二次为 37.5 kg/亩。对照区面积 1 亩左右。

2.3. 取样与检测

小区试验：水稻收割时，按小区测产与取样，单个谷样重 1 kg。检测糙米与精米的铁含量。

生产试验：水稻收割时，分品种进行田间 5 点取样，单个谷样重 1 kg。检测精米铁含量。

2.4. 数据处理

试验数据采用 Excel 2003 进行数据整理和方差分析，采用 Excel 的 TDIST 函数进行多重比较(LSD)，

采用 t 检验法判断处理稻谷产量、稻米铁含量与对照的差异程度。

3. 结果与分析

3.1. 铁肥与氮磷钾叶面肥配施对水稻产量的影响

试验表明(表 2),铁肥与氮磷钾叶面肥配施对水稻具有一定的增产作用,处理较对照平均增产 10.07%。早施的三个处理增产达 14.58%~16.67%,迟施的三个处理增产为 3.31%~6.25%,早施显著高于迟施($t = 0.022$)。但无论早施或迟施,以硫酸亚铁浓度 2%时的增产效果最好。

Table 2. Yield table of combined application of iron fertilizer and NPK leaf fertilizer (kg/plot)

表 2. 铁肥与氮磷钾叶面肥配施小区试验产量表(kg/小区)

处理	I	II	III	平均	较对照±%
A1B1	9.50	8.75	9.75	9.33	16.67
A1B2	8.75	7.75	9.00	8.50	6.25
A2B1	9.25	9.00	9.25	9.17	14.58
A2B2	7.75	8.75	8.75	8.42	5.21
A3B1	8.75	9.75	9.00	9.17	14.58
A3B2	8.00	8.00	8.75	8.25	3.13
CK	8.00	7.50	8.50	8.00	

方差分析表明(表 3),铁肥与氮磷钾叶面肥配施产量各处理间差异显著($P < 0.05$, 下同)。其中:各浓度硫酸亚铁早施均极显著高于对照($P < 0.01$, 下同)、显著高于 4%硫酸亚铁迟施;2%硫酸亚铁早施,显著高于 2%、3%硫酸亚铁迟施,但与 3%、4%硫酸亚铁早施之间无统计学意义(表 4)。

Table 3. Analysis of yield variance in plots with combined application of iron fertilizer and NPK leaf fertilizer

表 3. 铁肥与氮磷钾叶面肥配施小区产量方差分析表

变异来源	DF	SS	MS	F
区组	2	1.024	0.512	2.440
处理	6	4.946	0.824	3.929*
误差	12	2.518	0.210	
总变异	20	8.488		

注: **表示方差分析达极显著水平($P < 0.01$), *表示方差分析达显著水平($P < 0.05$), 下同。

Table 4. Comparison table of yield in plots with combined application of iron fertilizer and NPK leaf fertilizer

表 4. 铁肥与氮磷钾叶面肥配施小区产量多重比较表

处理	小区产量 (mg/小区)	A1B1	A2B1	A3B1	A1B2	A2B2	A3B2	CK
		9.33	9.17	9.17	8.50	8.42	8.25	8.00
CK	8.00	0.0039	0.0088	0.0089	0.2061	0.2871	0.5165	
A3B2	8.25	0.0134	0.0303	0.0305	0.5165	0.6638		
A2B2	8.42	0.0305	0.0676	0.0680	0.8274			
A1B2	8.50	0.0458	0.0994	0.1000				
A3B1	9.17	0.6638	0.9972					
A2B1	9.17	0.6663						
A1B1	9.33							

3.2. 铁肥与氮磷钾叶面肥配施对水稻籽粒铁含量的影响

试验表明(表 5、表 6), 水稻铁肥与氮磷钾叶面肥配施能显著提高稻米铁含量, 其中: 精米处理较对照平均提高 68.08%, 糙米处理较对照平均提高 50.58%。早施的三个处理组合精米铁含量达 6.01~6.87 mg/kg, 迟施的三个处理组合精米铁含量为 4.73~5.68 mg/kg, 平均精米铁含量早施较迟施提高 21.5%, 差异达显著水平($t = 0.007$)。早施的三个处理组合糙米铁含量达 7.02~7.56 mg/kg, 迟施的三个处理组合糙米铁含量为 5.80~7.49 mg/kg, 平均糙米铁含量早施较迟施提高 13.83%, 但差异未达显著水平($t = 0.465$)。

Table 5. Table of iron content in milled rice in plot test of combined application of iron fertilizer and NPK leaf fertilizer (mg/kg)

表 5. 铁肥与氮磷钾叶面肥配施小区试验精米铁含量表(mg/kg)

处理	I	II	III	平均	较对照±%
A1B1	6.8	4.84	6.39	6.01	75.73
A1B2	4.68	7.18	5.18	5.68	66.08
A2B1	6.9	5.48	8.22	6.87	100.88
A2B2	6.2	4.32	4.95	5.16	50.88
A3B1	5.38	7.4	5.33	6.04	76.61
A3B2	4.61	4.11	5.47	4.73	38.3
CK	3.58	3.57	3.1	3.42	

Table 6. Table of iron content of brown rice in plot experiment of combined application of iron fertilizer and NPK leaf fertilizer (mg/kg)

表 6. 铁肥与氮磷钾叶面肥配施小区试验糙米铁含量表(mg/kg)

处理	I	II	III	平均	较对照±%
A1B1	7.40	7.12	6.54	7.02	53.28
A1B2	4.10	6.46	7.63	6.06	32.31
A2B1	5.44	7.44	9.46	7.45	62.66
A2B2	6.23	5.83	10.40	7.49	63.54
A3B1	5.40	8.57	8.71	7.56	65.07
A3B2	5.94	4.79	6.67	5.80	26.64
CK	4.97	4.40	4.36	4.58	

方差分析表明(表 7), 各处理间精米铁含量差异显著, 但糙米铁含量无统计学意义, 表明铁氮磷钾配施主要是促进了铁元素向胚乳的转运与积累。多重比较表明(表 8), 3%硫酸亚铁早施的精米铁含量极显著高于对照、显著高于 4%硫酸亚铁迟施; 4%硫酸亚铁早施、2%硫酸亚铁早施或迟施, 均显著高于对照。

Table 7. Variance analysis of iron content in milled rice applied with iron fertilizer and NPK leaf fertilizer

表 7. 铁肥与氮磷钾叶面肥配施精米铁含量方差分析表

变异来源	DF	SS	MS	F
区组	2	0.23	0.12	0.090
处理	6	22.34	3.72	3.003*
误差	12	14.88	1.24	
总变异	20	8.488		

Table 8. Comparison table of iron content in milled rice with combined application of iron fertilizer and NPK leaf fertilizer
表 8. 铁肥与氮磷钾叶面肥配施精米铁含量多重比较表

处理	精米铁含量 (mg/kg)	A2B1	A3B1	A1B1	A1B2	A2B2	A3B2	CK
		6.87	6.04	6.01	5.68	5.16	4.73	3.42
CK	3.42	0.003	0.014	0.015	0.028	0.080	0.174	
A3B2	4.73	0.037	0.176	0.185	0.317	0.647		
A2B2	5.16	0.084	0.352	0.366	0.576			
A1B2	5.68	0.216	0.702	0.723				
A1B1	6.01	0.365	0.977					
A3B1	6.04	0.379						
A2B1	6.87							

3.3. 不同水稻品种铁富集能力与铁氮磷钾配施效果分析

生产试验表明, 水稻不同品种籽粒的富铁效果存在较大差异, 与蒋彬的研究一致[6]。其中: 黑糯稻的铁含量最高, 达 9.78 mg/kg。三个优质稻品种中, 浓香 18 的铁富集能力最强, 较浓香 32 和黄华粘分别高 51.63%、187.65%。

不同水稻品种对外源补铁的增效作用存在较大差异。在水稻齐穗期和灌浆初期喷施“4%硫酸亚铁 + NPK”2 次, 施肥效果最好的是黄华粘, 处理较对照提高 30.88%; 其次是浓香 32, 处理较对照提高 13.95%, 而浓香 18 和黑糯稻的增效甚微。

4. 讨论与结论

水稻是我国重要的粮食作物, 选育富铁水稻品种、研究和推广水稻富铁技术是提高稻米铁含量的主要途径。本研究表明, 通过铁肥与氮磷钾配施技术, 能显著提高稻米铁含量和稻谷产量, 精米铁含量与糙米铁含量比值达到 84%, 较对照提高了 9 个百分点, 说明该方法促进了铁元素向胚乳的转运与积累。鉴于稻米商品性要求, 通常是加工成精米进入市场, 因此, 有效提高稻米胚乳的铁含量显得十分重要。

水稻采用铁肥与氮磷钾配施技术, 无论精米铁含量还是产量, 早施(扬花前 7 天左右)显著优于迟施(扬花后 3 天左右)。对提高稻米铁含量而言, 以 3%硫酸亚铁早施的富铁效果最好; 对提高水稻产量来说, 以 2%硫酸亚铁早施的增产效果最佳。

参考文献

- [1] 吴忠坤. 稻米富铁途[J]. 中国稻米, 2007(5): 20-22.
- [2] Cook, J.D., Skikne, B.S. and Baynes, R.D. (1994) Iron Deficiency: The Global Perspective. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, **356**, 219-228. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2554-7_24
- [3] 王雪艳, 左晓旭, 舒小丽, 等. 富铁水稻研究进展[J]. 核农学报, 2005, 19(5): 404-408.
- [4] Gregorio, G.B., Senadhira, D., Htut, T., et al. (1999) Improving Iron and Zinc Value of Rice for Human Nutrition. *Agricultural Development*, **23**, 77-81.
- [5] 俄胜哲, 袁继超, 丁志勇, 等. 氮磷钾肥对稻米铁、锌、铜、锰、镁、钙含量和产量的影响[J]. 中国水稻科学, 2005, 19(5): 434-440.
- [6] 蒋彬. 精米中微量元素铁铜锰锌的含量差异[J]. 昭通师范高等专科学校学报, 2002, 24(2): 49-52.