海藻复合肥对稻米品质和养分利用率的影响

常　云[1]，艾新帅[1]，袁乐斌[1]，卢波斯[2]，沈　宏[2]

（1. 湖北鄂中生态工程股份有限公司，湖北 钟祥　431915；2. 华南农业大学 资源环境学院，广东 广州　510642）

［摘　要］海藻复合肥是海藻酸提取物与复合肥复配而成的增效肥料，近年来在市场上颇受关注。通过大田试验研究海藻复合肥基施和分蘖期追施对稻米品质和养分利用率的影响。结果表明，与常规复合肥相比，海藻复合肥处理稻米垩白粒和垩白度降低15.5%～44.8%，稻米胶稠度增加8.3%～10.1%；且海藻复合肥处理稻米铬、砷吸收降低29.6%～45.8%，但对铅、汞吸收没有显著影响；海藻复合肥处理水稻养分利用率较常规复合肥处理提高，氮、磷、钾利用率分别提高5.8～10.0、1.0～3.4、4.1～7.3百分点。海藻复合肥能提高水稻养分吸收效率，增加稻谷产量，并改善部分稻米品质，值得在水稻生产区推广应用。

［关键词］海藻复合肥；水稻；稻米品质；养分利用效率

［中图分类号］S143.5;S511　　［文献标志码］A　　［文章编号］2097-4566（2026）01-0109-04

Effect of seaweed compound fertilizer on rice quality and nutrient utilization efficiency

CHANG Yun[1], AI Xinshuai[1], YUAN Lebin[1], LU Bosi[2], SHEN Hong[2]

(1. *Hubei Ezhong Ecological Engineering Co., Ltd., Zhongxiang* 431915, *China*;
2. *College of Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou* 510642, *China*)

Abstract: Seaweed compound fertilizer is a synergistic fertilizer composed of alginate extract and compound fertilizer, which has attracted much attention in the market in recent years. The effects of base application and topdressing at tillering stage of seaweed compound fertilizer on rice quality and nutrient utilization efficiency are studied by field experiment. The results show that compared with conventional compound fertilizer, seaweed compound fertilizer treatment can reduce the chalky grains and chalkiness rate of rice by 15.5%-44.8%, and increase the rice glue consistency by 8.3%-10.1%. Seaweed fertilizer reduces the absorption of chromium and arsenic by 29.6%-45.8%, but has no effect on lead and mercury absorption. The nutrient utilization rate of rice with seaweed compound fertilizer treatment is increased compared with conventional compound fertilizer treatment, N, P, K utilization rate are increased by 5.8-10.0, 1.0-3.4 and 4.1-7.3 percentage points. Seaweed compound fertilizer can improve the nutrient absorption efficiency, yield, and the quality of rice, which is worthy of popularization and application in rice production areas.

Key words: seaweed compound fertilizer; rice; rice quality; nutrient utilization efficiency

复合肥是水稻生产中应用最多的肥料品种，如何提高复合肥的利用效率一直是肥料科技工作者努力研究的课题。在复合肥中添加功能物质，如海藻酸、海藻寡糖、海藻提取物等增效物质是提高复合肥养分利用效率的重要方法。周丽平等[1]等研究发现，与等养分复合肥相比，海藻酸增效复合肥能够改善黄瓜各生育期的株高、茎粗和叶面积指数，还能提高黄瓜收获期的氮、磷、钾含量，从而增加黄瓜产量；而且，海藻增效复合肥总养分减量20%处理并不影响黄瓜氮、磷、钾吸收。刘金萍等[2]研究表明，与常规复合肥相比，基施等养分海藻复合肥可促进夏玉米植株生长，夏玉米产量提高15.3%，氮、磷、钾肥利用率提高29.2%～84.2%。这些表明，海藻提取物等增效剂加入肥料中，可明显促进农作物生长，提高其产量与品质。海藻提取物添加至肥料中能促进农作物生长并提高其品质的原因可能与海藻体内生理活性物质有关。海藻长期生长在高盐、低温、寡照的条件下，为维持正常生

收稿日期:2024-09-03;　**修回日期**:2025-06-15

作者简介:常　云(1974—　),男,湖北荆门人,高级农艺师,研究方向为新型肥料。

通信作者:沈　宏(1970—　),男,湖北荆州人,教授,研究方向为新型肥料与生物刺激素。

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YF200405-5)

长，海藻体内累积了许多生理活性物质，如海藻寡糖、甘露醇、褐藻多酚、生长素、细胞分裂素等。这些海藻提取物对陆地植物具有明显的抗逆促生作用。将海藻提取物与肥料复配，既能为农作物提供养分，又能增加其抗逆能力。因此，含海藻提取物的复合肥、水溶肥料在市场上不断涌现。笔者研究不同来源的海藻复合肥对水稻产量、品质及养分利用效率的影响，以期为海藻复合肥在农业生产上的推广应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点与材料

本次试验为大田小区试验，试验地点位于湖南省衡阳市衡山县开云镇金龙村。水稻品种为晶两优534，生育期124 d。2022年5月8日育秧，秧龄26 d，移栽时间6月2日，收获时间为9月8日。土壤理化性质如下：土壤w（有机质）12.5 g/kg，w（全氮）1.16 g/kg，w（碱解氮）45.6 mg/kg，w（速效磷）24.5 mg/kg，w（速效钾）51.6 mg/kg，土壤pH 6.76。海藻复合肥Ⅰ、海藻复合肥Ⅱ分别是湖北鄂中生态工程股份有限公司研发生产的复合肥产品仟金方18–10–14和仟金方28–8–12，海藻酸提取物在复合肥产品中的添加量为1%。

1.2 试验处理设置

本试验为大田试验，设置4个处理，每个处理重复3次，具体如下。

对照处理：不施肥。

常规复合肥处理：每667 m^{2}施复合肥（16–16–16）40 kg作为底肥，分蘖期再追施10 kg。

海藻复合肥Ⅰ处理：每667 m^{2}施复合肥（仟金方18–10–14）40 kg作为底肥，分蘖期再追施10 kg。

海藻复合肥Ⅱ处理：每667 m^{2}施复合肥（仟金方28–8–12）40 kg作为底肥，分蘖期再追施10 kg。

1.3 水稻灌水、打药、晒田管理

水稻幼苗生长至5叶1心后（大约在秧田生长26 d），手工移栽到稻田中，每穴3株幼苗，行距为20～25 cm，株距为15～20 cm，每667 m^{2}共有1.4万～1.5万穴。水稻管理按照“浅水栽秧、深水活棵、寸水分蘖、打苞深水、干湿壮籽”原则，进行水分管理和晒田工作。

采用物理杀虫灯和化学农药相结合的方式进行病虫害管理。对于水稻白叶枯病、稻瘟病、纹枯病、叶枯病、螟虫、飞虱等，分别选择25%叶枯唑100 g、75%三环唑30 g、20%井冈霉素可湿性粉剂40 g、18%杀虫双水剂400 mL、70%吡虫啉5 g（667 m^{2}用量），兑水60 kg喷雾防治。

1.4 测定指标

水稻收获后测定指标包括：稻谷千粒质量，稻米直链淀粉、粗蛋白、胶稠度以及重金属（镉、铅、汞、砷、铬）含量。其中，稻米中重金属含量采用原子吸收光谱法测定（GB 5009.15—2023）；稻米蛋白质含量采用凯氏定氮法测定（GB 5009.5—2016）；稻米垩白粒率和垩白度采用GB/T 1354—2018方法进行测定；稻米胶稠度采用GB/T 22294—2008方法进行测定；稻谷千粒质量采用计数称量法测定；稻米直链淀粉含量采用GB/T 15683—2008方法进行测定。植株氮、磷、钾吸收量参照鲍士旦所著《土壤农化分析》[3]进行测定。

1.5 统计分析

每个处理重复3次，所有数据均用Excel和SPSS软件统计分析，然后进行差异显著性检验分析（P<0.05）。

2 结果

2.1 海藻复合肥对水稻植株生长的影响

为了测定不同复合肥处理对水稻植株生长的影响，测定了水稻拔节期和乳熟期叶片SPAD和最大叶长、叶宽（见表1）。

表1 不同复合肥处理对水稻植株生长的影响

Table 1 Effects of different compound fertilizer treatments on rice plant growth

处理	SPAD		最大叶长/cm		最大叶宽/cm	
	拔节期	乳熟期	拔节期	乳熟期	拔节期	乳熟期
常规复合肥	45.1 b	37.5 b	31.8 a	38.8 b	1.46 a	1.51 b
海藻复合肥Ⅰ	47.3 ab	43.4 a	33.2 a	43.4 a	1.58 a	1.71 a
海藻复合肥Ⅱ	49.7 a	44.1 a	34.1 a	45.2 a	1.63 a	1.79 a

注:同列数据后小写字母不同,表示不同处理间差异显著,下同。

由表1可以看出，在水稻拔节期，与常规复合肥相比，海藻复合肥Ⅰ和Ⅱ处理的水稻叶片SPAD值分别增加4.9%和10.2%；但最大叶长与叶宽与常规复合肥处理没有明显差异。进入乳熟期后，海藻复合肥处理的叶片SPAD值分别比常规复合肥高出15.7%和17.6%；与常规复合肥相比，水稻最大叶长增加了11.9%～16.5%，最大叶宽增加了13.2%～18.5%。

2.2 海藻复合肥对水稻生物量分配的影响

除测定水稻形态参数外，还测定了不同复合肥处理对成熟期水稻生物量分配的影响，结果见表2。由表2可以看出，3种处理条件下，水稻生物量

主要分布在茎叶，其占比在整个水稻植株中超过55.0%。与常规复合肥处理相比，海藻复合肥处理降低了茎叶在整株生物量中的占比，增加了籽粒在整株生物量中的占比。海藻复合肥Ⅰ、Ⅱ处理的籽粒干质量比常规复合肥处理分别增加8.5%和13.4%。分析水稻植株生物量在不同部位分布可知，海藻复合肥有利于降低茎叶生物量比例，增加籽粒生物量比例，这对水稻经济产量形成非常重要。

表2　不同复合肥处理对水稻生物量分配的影响

Table 2　Effects of different compound fertilizer treatments on rice biomass allocation

处理	根干质量/（kg·m^{-2}）	茎叶干质量/（kg·m^{-2}）	籽粒干质量/（kg·m^{-2}）	根系占比/%	茎叶占比/%	籽粒占比/%
常规复合肥	0.73 a	2.15 a	0.82 b	19.7 a	58.2 a	22.1 b
海藻复合肥Ⅰ	0.78 ab	2.16 a	0.89 ab	20.4 a	56.4 a	23.2 ab
海藻复合肥Ⅱ	0.81 a	2.21 a	0.93 a	20.1 a	55.5 a	24.2 a

2.3　海藻复合肥对稻米重金属含量的影响

稻米重金属含量是影响稻米食品安全性的重要指标。不同复合肥处理对稻米铅、镉、铬、砷和汞含量的影响见表3。由表3可以看出，与常规复合肥相比，海藻复合肥Ⅰ、Ⅱ处理明显降低稻米铬、砷含量，对铅、汞含量没有明显影响，但海藻复合肥Ⅰ处理显著降低稻米镉含量，而海藻复合肥Ⅱ处理对稻米镉含量影响不显著，其内在机制有待进一步研究。

表3　不同复合肥处理对稻米重金属含量的影响

Table 3　Effects of different compound fertilizer treatments on heavy metal content in rice　mg/kg

处理	w(铅)	w(镉)	w(铬)	w(砷)	w(汞)
常规复合肥	0.076 3 a	0.442 a	0.653 a	0.366 a	0.005 9 a
海藻复合肥Ⅰ	0.019 6 a	0.382 b	0.354 b	0.201 b	0.002 5 a
海藻复合肥Ⅱ	0.010 9 a	0.471 a	0.460 b	0.204 b	0.003 2 a

2021年2月22日，国家卫生健康委和国家市场监督管理总局联合发布了GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品污染物限量（含第1号修改单）》，根据该标准，谷物中重金属质量分数限值为铅0.20 mg/kg、镉0.20 mg/kg、汞0.02 mg/kg、砷0.20 mg/kg和铬1.0 mg/kg。由表3可以看出，3个复合肥施肥处理的稻米镉含量和砷含量超标，但稻米铅含量、铬含量和汞含量低于国家标准限值，是安全的。不同海藻复合肥处理对稻米镉含量的影响值得深入研究。

2.4　海藻复合肥对稻米品质的影响

除分析稻米重金属含量外，还测定了不同复合肥处理对稻米品质指标的影响，结果见表4。由表4可以看出，与常规复合肥处理相比，海藻复合肥Ⅰ和Ⅱ处理稻米垩白粒率分别降低15.5%和44.8%，垩白度降低23.1%和29.5%。施用海藻复合肥对稻米直链淀粉含量、粗蛋白含量和千粒质量影响不显著，但稻米胶稠度增加8.3%～10.1%。这些结果表明，与常规复合肥相比，施用海藻复合肥对稻米胶稠品质具有一定改善作用，同时提升稻米外观品质。

表4　不同复合肥处理对稻米品质的影响

Table 4　Effects of different compound fertilizer treatments on rice quality

处理	垩白粒率/%	垩白度/%	w(直链淀粉)/%	w(粗蛋白)/%	胶稠度/mm	千粒质量/g
常规复合肥	16.8 a	3.25 a	17.6 a	7.1 a	83.3 b	18.4 a
海藻复合肥Ⅰ	14.2 b	2.64 b	16.4 a	7.1 a	90.2 a	18.9 a
海藻复合肥Ⅱ	11.6 c	2.51 b	16.2 a	7.0 a	91.7 a	18.6 a

2.5　海藻复合肥对水稻植株养分利用率的影响

鉴于海藻复合肥具有促进水稻生长、提高籽粒产量的效果（见表2），测定了不同复合肥处理对水稻氮、磷、钾利用效率的影响，结果见表5。由表5可以看出，与常规复合肥处理相比，海藻复合肥处理明显增加水稻植株氮吸收量，降低磷吸收量，但对钾吸收量没有明显影响。与常规复合肥处理相比，海藻复合肥Ⅰ和Ⅱ处理的氮吸收量分别增加17.5%和24.9%；磷吸收量降低17.1%和20.4%。就水稻植株氮、磷、钾利用率来看，比常规复合肥处理相比，海藻复合肥处理的氮素利用率提高了5.8～10.0百分点，磷素利用率提高1.0～3.4百分点，钾素利用率提高4.1～7.3百分点。海藻复合肥Ⅰ和Ⅱ处理的水稻氮素利用率显著高于常规复合肥处理。水稻磷、钾利用率仅海藻复合肥Ⅱ处理显著高于常规复合肥处理，海藻复合肥Ⅰ处理的水稻磷、钾利用率与常规复合肥处理没有差异。

表5　不同复合肥处理对水稻氮、磷、钾利用率的影响

Table 5　Effects of different compound fertilizer treatments on nitrogen, phosphorus, and potassium utilization efficiency of rice

处理	667 m^{2}氮吸收量/kg	667 m^{2}磷吸收量/kg	667 m^{2}钾吸收量/kg	氮素利用率/%	磷素利用率/%	钾素利用率/%
对照	4.25 c	1.36 c	4.16b			
常规复合肥	7.55 b	2.75 a	7.64 a	41.3 b	17.4 b	43.5 b
海藻复合肥Ⅰ	8.87 ab	2.28 b	7.49 a	51.3 a	18.4 ab	47.6 ab
海藻复合肥Ⅱ	9.43 a	2.19 b	7.21a	47.1 a	20.8 a	50.8 a

3 讨论

海藻复合肥是海藻提取物（如海藻酸提取物、海藻寡糖、海藻多酚提取物等）与复合肥复配而成的功能性肥料，不仅具有较强的促生长作用，而且还能增强农作物对逆境胁迫的抗性，兼有肥效和药效的双重效果[4]。本文表1、4的结果表明，与常规复合肥相比，海藻酸提取物与复合肥复配而成的海藻复合肥能够明显促进水稻植株生长，并改善水稻外观和食用品质。垩白率指有垩白的米粒占整个米样粒数的比例。垩白度指垩白米的垩白面积占试样米粒面积总和的比例。海藻复合肥处理的稻米垩白粒率和垩白度显著低于常规复合肥处理，垩白率和垩白度分别为11.6%～16.8%和0.05%～1.25%，达到GB/T 17891—1999《优质稻谷》二等级大米要求。

稻米蛋白质含量是影响大米食味的重要指标。稻米蛋白质含量越低，则米饭的食味越好，由表4可知，3个处理的大米粗蛋白含量没有明显差异，表明海藻复合肥处理对稻米粗蛋白含量没有明显影响。稻米中直链淀粉含量是评价米饭软硬的重要指标，一般直链淀粉为中至低含量的米饭较软，适口性更好，饭粒光泽度较好，而直链淀粉含量高的米饭较硬，适口性较差。由表4可知，与常规复合肥处理相比，海藻复合肥Ⅰ和Ⅱ处理具有降低稻米直链淀粉含量的作用。而且，海藻复合肥Ⅱ处理的稻米直链淀粉含量较海藻复合肥Ⅰ处理更低，具有更好的适口性。稻米胶稠度是反应稻米内在酶活性和活化程度的指标，米胶越长，稠度越大，表明稻米的口感越好，入口更柔软。施用海藻复合肥处理的稻米胶稠度比常规复合肥处理增加8.3%～10.1%，表明施用海藻复合肥有利于提高稻米胶稠度[5]。

作物对肥料养分的利用效率是衡量肥料好坏的重要指标。本文比较了海藻复合肥和常规复合肥处理下水稻植株氮、磷、钾利用率。由表5结果可知，海藻复合肥处理的水稻氮素利用率显著高于常规复合肥处理；而水稻磷素和钾素利用率仅海藻复合肥Ⅱ处理显著高于常规复合肥处理，海藻复合肥Ⅰ处理与常规复合肥处理没有明显差异。分析3种复合肥配方可知，海藻复合肥Ⅱ处理的氮素含量显著高于海藻复合肥Ⅰ和常规复合肥处理，可以推测，海藻提取物添加到复合肥中可明显促进肥料氮素的吸收，从而提高其利用效率。黄继川等[6]也发现，施用海藻酸复合肥料有利于提高双季稻的氮肥利用率。周丽平等[1]研究结果也表明，与常规复合肥相比，海藻增效复合肥减少总养分20%处理也能够实现对黄瓜的提质增产作用。

4 结论

综合海藻复合肥对稻米多项品质指标和氮磷素利用效率的影响，施用海藻复合肥处理有利于提高水稻养分吸收利用效率以及稻米整体营养品质，在水稻生产中推广应用具有较好的前景。

[参考文献]

[1] 周丽平，袁亮，李燕婷，等.海藻酸增效复合肥料减施的黄瓜肥料效应[J].中国土壤与肥料，2022(10)：111-117.
ZHOU L P，YUAN L，LI Y T，et al. Effect of reduced application of alginic acid-enhanced compound fertilizer on cucumber[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China，2022(10)：111-117.

[2] 刘金萍，刘艳丽，邵雨晴，等.海藻复合肥对夏玉米产量及养分吸收利用的影响[J].河南农业大学学报，2021，55(3)：429-434.
LIU J P，LIU Y L，SHAO Y Q，et al. Effect of seaweed compound fertilizer on yield and nutrient absorption and utilization of summer maize[J]. Journal of Henan Agricultural University，2021，55(3)：429-434.

[3] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京：中国农业出版社，2000.
BAO S D.Soil agrochemical analysis[M]. Beijing：China Agricultural Publishing House，2000.

[4] 朱迎春，安国林，李卫华，等.海藻酸水溶肥对西瓜生长及产量的影响[J].果树学报，2020，37(12)：1898-1906.
ZHU Y C，AN G L，LI W H，et al. Effects of alginate water soluble fertilizer on growth and quality of watermelon[J]. Journal of Fruit Science，2020，37(12)：1898-1906.

[5] 黄文佳，王健，王桂艳，等.喷施海藻酸钠寡糖对水稻农艺性状和产量的影响[J].农业开发与装备，2020(9)：126-127.
HUANG W J，WANG J，WANG G Y，et al. Effects of spraying sodium alginate oligosaccharide on agronomic traits and yield of rice[J].Agricultural Development & Equipments，2020(9)：126-127.

[6] 黄继川，彭智平，涂玉婷，等.施用海藻酸复合肥料的双季稻产量和氮磷肥料效应[J].热带作物学报，2020，41(5)：859-867.
HUANG J C，PENG Z P，TU Y T，et al. Yield，Nitrogen and Phosphorus Nutrient Effects of Alginate Compound Fertilizer on Double-cropping Rice[J]. Chinese Journal of Tropical Crops，2020，41(5)：859-867.