

几种新型肥料对水稻产量及稻米镉含量的影响

袁国飞¹, 聂凌利^{2,3}, 骆堂^{2,3}, 刘建华^{2,3}, 肖欢^{2,3}, 敖和军^{2,3*}

(1. 湖南省种子质量检测中心, 湖南长沙 410006; 2. 湖南农业大学农学院, 湖南长沙 410128; 3. 南方粮油作物协同创新中心, 湖南长沙 410128)

摘要 [目的]探究几种新型肥料对水稻产量及稻米镉含量的影响。[方法]早、晚稻分别采用陆两优 996 和五优 308, 设置 5 种肥料处理, 分别为生物酵素有机肥(F₁)、叶面肥(F₂)、果肥(F₃)和土壤改质肥(F₄)及不施肥处理(CK)。[结果]施用新型肥料能提高水稻的产量, 与不施肥处理相比, 早稻可增产 34.97%~45.97%, 晚稻可增产 10.76%~37.62%。早、晚稻均以施用叶面肥的增产效果最好, 分别为 9 362.37、11 405.18 kg/hm²。有机肥、叶面肥、果肥和土壤改质肥均能降低稻米中镉含量, 早、晚稻分别以果肥、土壤改质肥的降镉效果最好, 分别比不施肥少 45.45%、35.71%, 且稻米镉含量均为 0.18 mg/kg。[结论]在保障产量和防治重金属污染的前提下, 施用果肥既能提高水稻的产量, 又能降低稻米中的镉含量, 是一种高产、优质的新型肥料。

关键词 新型肥料; 水稻; 产量; 镉含量

中图分类号 S14 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)03-0107-03

Effect of Several New Fertilizer on Yield of Rice and Cadmium Content in Rice

YUAN Guo-fei¹, NIE Ling-li^{2,3}, LUO Tang^{2,3} et al (1. Hunan Testing Center of Seed Quality, Changsha, Hunan 410006; 2. College of Agriculture, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128; 3. Collaborative Innovation Center of Grain and Oil Crops in South China, Changsha, Hunan 410128)

Abstract [Objective] In order to explore the effect of several new fertilizers on yield of rice and cadmium content in rice. [Method] Using Luliangyou 996 and Wuyou308 as early and late rice species respectively, field experiment was carried out by five fertilizer treatments: biological ferment organic fertilizer (F₁), foliar fertilizer (F₂), fruit fertilizer (F₃), modified soil fertilizer organic fertilizer (F₄) and non-fertilizer treatment (CK). [Result] Application of new fertilizer can increase rice yield, and compared with non fertilization, yield of early rice and late rice can increase by 34.97% - 45.97% and 10.76% - 37.62% respectively. Foliar fertilizer had best effect for promoting production, yield of early rice and late rice was 9 362.37 kg/hm², 11 405.18 kg/hm², respectively. Organic fertilizer, foliar fertilizer, fruit fertilizer and soil modified fertilizer can all reduce the cadmium content in rice, and cadmium content in early rice and late rice was lowest by fruit fertilizer and soil amendment fertilizer, which was lower than non-fertilizer by 45.45%, 35.71% respectively, and the cadmium content of brown rice was both 0.18 mg/kg. [Conclusion] Under the premise of ensuring yield and preventing heavy metal pollution, applying fruit fertilizer can not only increase rice yield, but also reduce cadmium content in rice, which is a new kind of fertilizer with high yield and high quality.

Key words New fertilizer; Rice; Yield; Cadmium content

我国是世界上最大的稻米生产国和消费国, 全国有超过 60% 的人口以稻米为主食, 因此水稻生产在保障粮食安全中起着至关重要的作用^[1]。在农业生产中, 肥料作为作物的“粮食”, 既能为作物提供充足的养分, 也能改良其生态环境^[2]。近年来, 我国的环境污染问题日益突出, 工业“三废”的不合理排放、固体废弃物的处理不善、污水灌溉等, 使得土壤中重金属含量急剧增加^[3]。随着“镉大米”等事件的发生, 重金属污染引起了社会各界的广泛关注, 也引起了新型肥料对镉污染土壤治理的研发和使用。研究表明, 新型肥料能促进水稻生长^[4]、提高水稻产量^[5]、改良水稻品质^[6]。陈雪丽等^[7]研究发现, 新型肥料能提高水稻的养分利用率, 并减少化肥的使用。汤海涛等^[8]研究表明, 施用叶面肥能使稻米中镉含量降低 18.11% 左右, 并提高水稻产量。还有研究发现, 土壤改质肥能明显提高土壤 pH, 促进土壤中重金属形成氧化物沉淀, 有效降低其交换态含量, 同时通过生物化学作用形成一些高分子聚合物, 与重金属形成络合物而使其固定, 影响植物对重金属吸收^[9]。有研究表明, 微生物的生物吸附机制是植物降低金属吸收的一个重要原因, 主要通过物理吸附和生物代谢累积在微生物细胞内来降低植物重金属含

量^[10-12]。金属离子可通过配位、螯合与离子交换、物理吸附及微沉淀等作用中的一种或几种复合至细胞表面, 减少土壤中镉等金属离子的有效态含量, 减少水稻对镉的吸收积累^[13]。新型肥料可以抑制水稻对土壤中镉的吸收, 对降低稻米中的镉含量有较显著的作用, 因此, 通过新型肥料改善水稻的生态栽培环境来保障水稻产量和降低稻米中镉含量的影响具有重要意义, 以期为重污染稻田修复技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试品种: 早稻品种为陆两优 996; 晚稻品种为五优 308。供试肥料: 生物酵素有机肥; 纳提诺叶肥有效成分 (pH: 6.3, 有效成分: 有机质 90%、全氮 8%、全磷 2%、全氧化钾 2%); 纳提诺果肥 (pH: 5.7, 有效成分: 有机质 90%、全氮 4%、全磷 5%、全氧化钾 2%); 纳提诺土壤改质肥有效成分: (pH: 7.7, 有效成分: 有机质 81%、全氮 5%、全磷 4%、全氧化钾 2%)。

1.2 试验设计 试验于 2016 年在益阳赫山区建丰村进行大田小区试验, 供试土壤肥力水平中等、均匀。试验共设置 5 个处理, 分别为 F₁ (分蘖期追施生物酵素有机肥)、F₂ (分蘖期、拔节期、孕穗期追施叶面肥)、F₃ (抽穗期追施果肥)、F₄ (分蘖期、拔节期、孕穗期追施土壤改质肥), CK (不追肥对照), 具体施肥量见表 1。试验采用随机区组排列, 3 次重复, 区间留走道, 小区间做埂, 小区面积 20 m²。早稻采用软盘育

基金项目 “VIP”控镉技术模式优化、土壤有效态镉与耕作制度的关系研究项目。

作者简介 袁国飞 (1971—), 男, 湖南望城人, 农艺师, 从事水稻重金属污染控制研究。* 通讯作者, 副教授, 博士, 硕士生导师, 从事水稻重金属污染控制研究。

收稿日期 2017-10-30

秧,于4月2日播种,4月23日移栽;晚稻采用软盘育秧,于6月26日播种,7月24日移栽。株行距为13.3 cm×20.0 cm,在分蘖盛期晒田,移栽前施750 kg/hm²阿波罗复合肥,其他栽培管理技术措施参考当地标准。

表1 试验设计

Table 1 Experimental design

处理 Treatment	分蘖期 Tillering stage	孕穗期 Booting stage	抽穗期 Heading stage
F ₁	生物酵素有机肥 750 kg/hm ²	无	无
F ₂	叶面肥 600 g/hm ²	叶面肥 600 g/hm ²	叶面肥 600 g/hm ²
F ₃	无	无	果肥40 g/hm ²
F ₄	土壤改质肥 15 kg/hm ²	土壤改质肥 15 kg/hm ²	土壤改质肥 15 kg/hm ²
CK	无	无	无

1.3 测定方法与指标

1.3.1 产量及产量构成因素。在成熟期,从各小区取10苑水稻样品,记录每苑有效穗数,脱粒后用水选法分为实粒与秕粒并分别计数。在各小区选取5 m²测产,分别脱粒晒干后称重。

1.3.2 镉含量测定。将脱粒后的籽粒打成糙米,将烘干后的糙米用不锈钢粉碎机粉碎,过100目筛,用浓硝酸与高氯酸(V硝酸:V高氯酸=4:1)湿法消解,采用ICP-MS测定样品镉含量。

1.4 数据统计分析 试验数据采用SAS 9.4中Mixed model进行分析。

2 结果与分析

2.1 几种新型肥料对早稻产量及其构成的影响 由表2可知,施用新型肥料能提高早稻的产量,施用叶面肥的处理产量最高,为9 362.37 kg/hm²,不施肥产量最低,为6 413.77 kg/hm²,且显著低于其他施肥处理。有效穗数最高的是施用叶面肥的处理,为475.1穗/m²,施用有机肥的处理有效穗数最低,为387.5穗/m²,其余处理间差异不显著。施肥处理的每穗粒数均显著高于不施肥处理,其中以施用有机肥的每穗粒数最高,为123.3粒,不施肥最低,为89.8粒。施用叶面肥和果肥的单位面积颖花数显著高于其他处理,分别为5.78万、5.46万个/m²。结实率以施用有机肥最高,为75.4%,比不施肥处理高20.1%,各处理间粒重和收获指数差异不显著。

表2 不同新型肥料对早稻产量及其构成的影响

Table 2 Effect of different new fertilizers on yield and yield components of early rice

处理 Treatment	有效穗数 Effective spike 穗/m ²	每穗粒数 Grains per spike 粒	颖花数 Spikelet number 万个/m ²	结实率 Seed-setting rate %	粒重 Grain weight mg	产量 Yield kg/hm ²
F ₁	387.5 c	123.3 a	4.78 b	75.4 a	24.03 a	8 656.85 a
F ₂	475.1 a	121.6 a	5.78 a	66.8 b	24.26 a	9 362.37 a
F ₃	464.1 b	117.7 a	5.46 a	69.5 b	24.29 a	9 221.47 a
F ₄	437.5 b	112.3 a	4.91 b	74.5 a	24.75 a	9 059.19 a
CK	456.2 b	89.8 d	4.10 c	62.8 c	24.93 a	6 413.77 b

注: 同列不同小写字母表示在0.05水平差异显著

Note: Different lowercase letters at the same column stand for significant differences at 0.05 level

2.2 不同新型肥料对晚稻产量及其构成的影响 表3显示,施用叶面肥对晚稻的增产效果最佳,为11 405.18 kg/hm²,比不施肥高37.62%,不施肥处理的单位面积颖花数和结实率最低,分别为4.61万个/m²、70.0%。单位面积有效穗数以施用土壤改质肥的较高,为331.2穗/m²,最低为施用果肥处

理,为260.5穗/m²。施用叶面肥能得到最大的每穗粒数,为187.2粒,显著高于施有机肥、土壤改质肥及不施肥处理。单位面积颖花数以施用叶面肥最高,为5.69万个/m²,且显著高于其他处理。

表3 不同新型肥料对晚稻产量及其构成的影响

Table 3 Effect of different new fertilizers on yield and yield components of late rice

处理 Treatment	有效穗数 Effective spike 穗/m ²	每穗粒数 Grains per spike 粒	颖花数 Spikelet number 万个/m ²	结实率 Seed-setting rate %	粒重 Grain weight mg	产量 Yield kg/hm ²
F ₁	308.3 b	159.3 b	4.91 b	73.5 c	25.43 a	9 179.58 c
F ₂	303.8 b	187.2 a	5.69 a	77.4 b	25.91 a	11 405.18 a
F ₃	260.5 c	186.5 a	4.86 b	85.1 a	25.07 a	10 365.03 b
F ₄	331.2 a	140.4 c	4.65 b	81.8 ab	25.30 a	9 623.46 c
CK	298.1 b	154.6 b	4.61 b	70.0 c	25.69 a	8 287.70 d

注: 同列不同小写字母表示在0.05水平差异显著

Note: Different lowercase letters at the same column stand for significant differences at 0.05 level

2.3 不同新型肥料对早稻成熟期镉含量的影响 由表4可知,早稻根中镉含量以施用有机肥最低,为2.91 mg/kg,显著

低于其他处理,最高的是施用叶面肥处理,为4.13 mg/kg。茎的镉含量以施用果肥和土壤改质肥的含量较低,分别为

0.87 和 0.82 mg/kg, 比其他处理低 0.15 ~ 0.63 mg/kg。不施肥处理叶中镉含量最高, 为 0.38 mg/kg, 施用果肥最低, 为 0.22 mg/kg。糙米中镉含量以施用果肥和土壤改质肥较低, 分别为 0.18 和 0.20 mg/kg, 显著低于其他处理。

表 4 不同新型肥料对早稻镉含量的影响

Table 4 Effect of different new fertilizers on Cd content of early rice mg/kg

处理 Treatment	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	糙米 Brown rice
F ₁	2.91 d	1.02 b	0.37 a	0.25 b
F ₂	4.13 a	1.45 a	0.36 a	0.30 a
F ₃	3.91 a	0.87 b	0.22 b	0.18 c
F ₄	3.19 cd	0.82 b	0.23 b	0.20 c
CK	3.47 bc	1.35 a	0.38 a	0.33 a

注: 同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercase letters at the same column stand for significant differences at 0.05 level

2.4 不同新型肥料对晚稻成熟期镉含量的影响 由表 5 可知, 晚稻根中的镉含量以不施肥最高, 为 2.61 mg/kg, 显著高于其他施肥处理。施用有机肥的茎秆中镉含量最高, 比其他处理高 0.25 ~ 0.39 mg/kg。施用果肥、土壤改质肥的糙米中镉含量较低, 分别为 0.19 和 0.18 mg/kg, 不施肥处理糙米镉含量最高, 为 0.28 mg/kg。

表 5 不同新型肥料对晚稻镉含量的影响

Table 5 Effect of different new fertilizers on Cd content of late rice mg/kg

处理 Treatment	根 Root	茎 Stem	糙米 Brown rice
F ₁	1.82 c	1.28 a	0.27 a
F ₂	1.86 c	0.92 bc	0.25 a
F ₃	2.02 bc	1.03 b	0.19 b
F ₄	2.29 b	0.89 c	0.18 b
CK	2.61 a	1.02 b	0.28 a

注: 同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercase letters at the same column stand for significant differences at 0.05 level

2.5 不同新型肥料对早、晚稻镉积累量的影响 由图 1 可知, 早、晚稻糙米镉积累量从大到小依次为叶面肥、有机肥、不施肥、果肥、土壤改质肥。以施用叶面肥处理糙米的镉积累量最多, 早、晚稻糙米镉积累量分别为 0.28、0.29 mg/m², 与其他处理差异均达到显著水平。施用果肥和土壤改质肥的早、晚稻糙米镉积累量较少, 早稻以施用果肥最少, 晚稻以施用土壤改质肥最少, 糙米镉积累量均为 0.17 mg/m²。

3 结论与讨论

施用新型肥料能提高水稻的产量, 与不施肥处理相比, 早稻可增产 34.97% ~ 45.97%, 晚稻可增产 10.76% ~ 37.62%, 早、晚稻均以施用叶面肥的增产效果最好, 产量分别为 9362.37、11405.18 kg/hm²。有研究发现^[14], 叶面肥对作物具有保根护根、增蘖、抗寒等作用, 能有效提高光合利用率, 促进作物生长发育, 达到增产增效的目的。该试验中, 早稻生育期气温较低, 叶面肥能保温抗寒, 促进水稻生长发育, 有利于水稻产量的形成。施用新型肥料增产主要是提高有

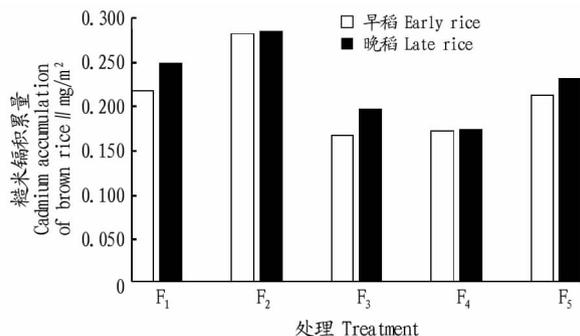


图 1 不同新型肥料对早、晚稻镉积累量的影响

Fig. 1 Effect of different new fertilizers on Cd accumulation of early rice and late rice

效穗数和每穗粒数, 增加单位面积颖花数来提高产量, 这与苏瑞芳等^[15]的研究基本相同。

有机肥、叶面肥、果肥和土壤改质肥均能降低稻米中镉含量, 早、晚稻分别以果肥、土壤改质肥的降镉效果最好, 分别比不施肥少 45.45%、35.71%, 且稻米镉含量均为 0.18 mg/kg, 可能是影响了镉在水稻植株内的转运作用, 这与江巧君等^[16]的研究结果是一致的。该试验表明有机肥和叶面肥的降镉效果较果肥和土壤改质肥效果不显著, 可能是有机肥和叶面肥促进了水稻的物质吸收, 进而也加强了对镉的吸收。水稻中, 各器官的镉含量从高到低依次为根、茎、叶、糙米, 这与文志琦等^[17]的研究一致。

施肥能促进水稻生长发育, 但不正确的施肥方式和不同的肥料种类也会增加水稻对镉的吸收。水稻高产与降低重金属含量存在一定的拮抗作用, 有机肥与叶面肥能提高水稻产量, 但稻米镉含量较高; 果肥和土壤改质肥增产效果不显著, 但对稻米的降镉效果较好, 因此, 施用果肥既能增产, 也能有效降低稻米镉含量, 是一种高产、优质的新型肥料。

参考文献

- [1] 王瑞元. 中国稻米油发展的现状与展望[J]. 粮食与食品工业, 2015, 22(2): 1-2, 8.
- [2] 朱兆良, 金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 259-273.
- [3] 詹杰, 魏树和, 牛荣成. 我国稻田土壤镉污染现状及安全生产新措施[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(7): 1257-1263.
- [4] 项忠兰, 傅金平, 王国平. 新型水溶肥料在水稻上应用的肥效试验[J]. 农业装备技术, 2013, 39(6): 37-38.
- [5] 许春华. 水稻新型肥料试验总结[J]. 农业开发与装备, 2013(6): 52.
- [6] 姚义, 谢成林, 吴嘉点, 等. 新型肥料“丰卉尿素”在水稻上的应用效果初探[J]. 中国稻米, 2016, 22(1): 79-81.
- [7] 陈雪丽, 王玉峰, 张磊, 等. 生物型水稻专用肥在黑土上的应用效果[J]. 中国农学通报, 2010, 26(4): 147-151.
- [8] 汤海涛, 李卫东, 孙玉桃, 等. 不同叶面肥对轻度重金属污染稻田水稻重金属积累调控效果研究[J]. 湖南农业科学, 2013(1): 40-44.
- [9] 陈远其, 张煜, 陈国梁. 石灰对土壤重金属污染修复研究进展[J]. 生态环境学报, 2016, 25(8): 1419-1424.
- [10] MADHAIYAN M, POONGUZHALI S, SA T. Metal tolerating methylotrophic bacteria reduces nickel and cadmium toxicity and promotes plant growth of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) [J]. Chemosphere, 2007, 69(2): 220-228.
- [11] KUFFNER M, DE MARIA S, PUSCHENREITER M, et al. Culturable bacteria from Zn- and Cd-accumulating *Salix caprea* with differential effects on plant growth and heavy metal availability [J]. Journal of applied microbiology, 2010, 108(4): 1471-1484.

的关系程度。

3 讨论

(1)用连阴雨灾害指数的大小来表征某次连阴雨天气过程的影响程度具有较好的指导意义,但最大日降水量、连续降水日数和降水总量的各权重系数是否在山西省各地一致还有待进一步通过模拟验证,特别是降水总量在夏(秋)季需

在100 mm以上才有权重,而实际上短时的强降水也很可能造成灾害。

(2)由于选定连阴雨过程时,包括了其中有1 d日照时数>3 h或降水量为0的情况,但该研究在实际选取时没有参考日照时数,而是简单地将过程中日降水量 ≥ 0.1 mm日期认定为日照时数 ≤ 3 h,因此选取的连阴雨过程有可能偏多。

表3 1961—2014年芮城县连阴雨灾情及对应过程情况统计

Table 3 The disaster situation and the corresponding process statistics of consecutive rainy in Ruicheng County from 1961 to 2014

灾情记录 Disaster records	连阴雨过程 Consecutive rainy process	对应的连阴雨灾害指数 Corresponding continuous rainy disaster index	对应等级 Corresponding grade
1963-04—1963-05	1963-05-19—05-26	2.4	V级
1964-08	1964-08-28—09-04	5.1	Ⅲ级
1964-10	1964-09-20—09-27	2.9	V级
1975-09—1975-10	1975-09-28—10-04	1.9	V级
1976-08-19—08-29	1976-08-19—08-29	8.4	Ⅱ级
1981-08—1981-09	1981-08-28—09-07	5.7	Ⅲ级
1983-06-19—06-26	1983-06-19—06-26	2.4	V级
1983-09-01—09-30	1983-09-04—09-10	3.3	Ⅳ级
	1983-09-20—09-28	3.2	Ⅳ级
1984-09-30—10-10	1984-09-21—09-28	4.2	Ⅳ级
1991-05-29—06-02	1991-05-28—06-02	2.1	V级
1992-09	1992-09-12—09-28	6.6	Ⅲ级
2011-09-01—09-18	2011-09-04—09-19	12.0	I级
2014-09-07—09-17	2014-09-07—09-17	7.5	Ⅲ级

(3)实际灾情普查由于各方面原因记录并不规范完整,不能很好而真实地代表连阴雨过程出现时所产生的灾情。灾情的收集与记录需要各方面的力量,在现阶段要多发挥信息员的作用,多利用区域气象监测站数据,尽量完整真实地记录连阴雨过程发生后发生的灾情。

(4)灾害等级的划分及影响划分比较粗糙,跨度较大。实际上,连阴雨灾害造成的影响是多方面的,在每个阶段的影响程度也是不一样的,这从统计中可以看到一部分连阴雨过程灾害指数较小却有灾情,而一部分指数大的过程反而没有灾情。

(5)关于连阴雨天气过程特别是致灾过程连阴雨过程出现时的主要天气形势没有进行分析,对连阴雨过程的预报指导作用有待加强。

参考文献

- [1] 郝寿昌,秦爱民,李旭峰. 山西省天气预报技术手册[M]. 北京:气象出版社,2016:60-73.
- [2] 刘瑞娜,杨天明,陈鹏,等. 安徽省油菜花期连阴雨灾害损失评估指标[J]. 中国农业气象,2016,37(4):471-478.
- [3] 王栋,谭桂容,耿新. 1960年以来山西秋季连阴雨的气候特征分析[J]. 灾害学,2015,30(1):75-81.
- [4] 原源,周显信,王栋. 晋中近48a连阴雨的气候特征分析[J]. 山西农业科学,2015,43(3):310-313,323.
- [5] 成林,刘荣花. 夏玉米生长中后期连阴雨灾害指标研究[J]. 中国农业气象,2014,35(2):221-227.
- [6] 李德,景元书,祁宦. 安徽省冬小麦灌浆期连阴雨灾害等级指标的确定[J]. 中国农学通报,2015,31(9):56-62.
- [7] 王正旺,陈宇斌,赵双巧,等. 一次春季连阴雨过程诊断分析[J]. 气象与环境科学,2011,34(S1):16-19.
- [8] 赵桂香,秦春英,郝孝智,等. 气象灾害等级划分(DB14/T 703—2012)[J]. 山西气象,2016(1):44-48.

(上接第109页)

- [12] BABU A G, REDDY M S. Dual inoculation of arbuscular mycorrhizal and phosphate solubilizing fungi contributes in sustainable maintenance of plant health in fly ash ponds[J]. Water, air and soil pollution, 2011, 219(1/2/3/4):3-10.
- [13] 陈亚刚,陈雪梅,张玉刚,等. 微生物抗重金属的生理机制[J]. 生物技术通报,2009(10):60-65.
- [14] 杨兰花,彭铁山,唐子忠. 2种复合型叶面肥在水稻上的增产效果研究

- [J]. 湖南农业科学,2010(8):26-27.
- [15] 苏瑞芳,李秀玲,张婉英,等. 商品有机肥对水稻生长、产量及稻米品质影响[J]. 上海农业学报,2008,24(4):127-130.
- [16] 江巧君,周琴,韩亮亮,等. 有机肥对镉胁迫下不同基因型水稻镉吸收和分配的影响[J]. 农业环境科学学报,2013,32(1):9-14.
- [17] 文志琦,赵艳玲,崔冠男,等. 水稻营养器官镉积累特性对稻米镉含量的影响[J]. 植物生理学报,2015,51(8):1280-1286.