◆提质增效产品创制技术◆

含黄腐酸钾磷酸一铵产品开发及肥效试验

于程程[1,2]，王　梦[1,2]，郭武松[1,2]，武　良[1,2]，房福力[1,2]，王盛锋[1,2]

（1. 新洋丰农业科技股份有限公司，湖北 荆门　448000；2. 养分资源高效利用湖北省工程研究中心，湖北 荆门　448000）

［摘　要］添加增效剂提高磷肥有效性是实现化肥减量增效目标的有效手段。黄腐酸作为一种生物刺激素，添加在磷肥中具有提高磷肥利用率、提高农作物抗逆性、改善农作物品质的作用。在磷酸一铵的生产工艺过程中加入矿物源黄腐酸钾，制成含一定量黄腐酸钾的磷酸一铵，对其中黄腐酸的测定方法进行改进，并对其施用效果进行研究。所得肥料产品的技术指标符合磷酸一铵国家标准要求，与普通磷酸一铵处理相比，含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵产品对小白菜具有一定的增产作用，平均增产14%，提高了肥料利用率。

［关键词］矿物源黄腐酸钾；磷酸一铵；黄腐酸；农学效果

［中图分类号］TQ442.14　　［文献标志码］A　　［文章编号］2097-4566（2024）12-0040-05

Development of monoammonium phosphate containing potassium fulvate and its fertilizer efficiency

YU Chengcheng[1,2], WANG Meng[1,2], GUO Wusong[1,2], WU Liang[1,2], FANG Fuli[1,2], WANG Shengfeng[1,2]

(1. *Xinyangfeng Agricultural Technology Co., Ltd., Jingmen* 448000, *China*;

2. *Hubei Provincial Engineering Research Center of Efficient Utilization of Nutrient Resources*, *Jingmen* 448000, *China*)

Abstract: Adding synergists to improve the effectiveness of phosphate fertilizers is an effective means to achieve the goal of reducing application and increasing efficiency. As a biostimulant, fulvic acid added to phosphate fertilizers has the effect of improving phosphate fertilizer utilization rate, enhancing crop stress resistance, and improving crop quality. In the production process of monoammonium phosphate, mineral source potassium fulvate is added to produce monoammonium phosphate containing a certain amount of potassium fulvate. The determination method of fulvic acid is improved, and its application effect is studied. The technical indicators of the obtained fertilizer product meet the national standard requirements for monoammonium phosphate. Compared with ordinary monoammonium phosphate treatment, the treatment with monoammonium phosphate containing mineral potassium fulvate has a certain yield increasing effect on Chinese cabbage, which is increased by 14% in average, and improves fertilizer utilization efficiency.

Key words: mineral potassium fulvate; monoammonium phosphate; fulvic acid; agronomic effect

0　引言

磷是植物生长发育必需的营养元素之一，植物生长所需的磷主要来源于磷肥，由于磷施入土壤后易被固定、移动性差和转化成无效态磷酸盐等原因[1]，造成我国磷肥当季利用率仅10%～20%[2-3]，通过添加增效剂提高磷肥有效性是实现“减量增效”目标的有效手段[4]。

黄腐酸作为一种生物刺激素，在促进肥料增效方面发挥了重要作用[5-6]，黄腐酸应用到磷铵、复合肥、液体肥等产品中，具有提高肥料利用率、提高农作物抗逆性、改善农作物品质的作用[7-8]。在磷肥中添加腐殖质作为磷肥载体，能够提高磷的有效性，表现在腐殖质与磷酸根离子竞争土壤吸附位置，某些基团与磷酸盐形成含磷有机复合物，在有机物降解过程中磷归还于土壤，减少磷的固定，促进植物对养分的吸收，提高农作物产量[9]。

黄腐酸主要分为矿物源黄腐酸（FA）和生物源黄腐酸两种，矿物源黄腐酸主要从风化煤、褐

［收稿日期］2024-07-08

［作者简介］于程程（1995-），女，辽宁朝阳人，研究方向为新型复合肥料研发与检测。

E-mail：1731134479@qq.com

［通信作者］王盛锋，高级农艺师。

煤、泥炭、油母页岩等有机矿物中提取；生物源黄腐酸是以粮食糟渣、植物秸秆、餐厨废弃物等为原料，通过微生物发酵或化学反应制得。矿物源黄腐酸相比于生物源黄腐酸具有活性高、交换容量大、安全性高等优势：矿物源黄腐酸含有苯环、羰基、羧基等各种有机官能团，能够刺激植物生长、抵抗逆境，具有空穴结构，能够形成土壤团粒结构，提高肥料利用率，并且性质稳定，不吸潮，无有毒有害物质[10-11]。

国家标准规定了黄腐酸原料及肥料检测方法，但黄腐酸在肥料中添加方式和添加量，特别是技术指标、检测方法缺乏相关标准。黄腐酸现有检测方法有 GB/T 34765—2017《矿物源黄腐酸含量的测定》、HG/T 5334—2018《黄腐酸钾》、HG/T 3276—2019《腐植酸铵肥料分析方法》、NY/T 3162—2017《肥料中黄腐酸含量的测定　容量滴定法》，黄腐酸检测原理为酸沉淀分离的上清液，用重铬酸钾氧化，硫酸亚铁标准滴定溶液反滴，根据测定的碳含量，换算成黄腐酸含量。虽原理相同，但检测步骤、换算方式仍有差异，并且现行黄腐酸检测方法多针对原料，肥料中黄腐酸含量测定标准只有 NY/T 3162—2017。因此，有必要确定黄腐酸在肥料中的合理添加量，规范合理的检测方法。

本研究在磷酸一铵生产过程中，加入矿物源黄腐酸钾，制备含一定量黄腐酸钾和 N、P 养分标明量的肥料。在 HG/T 5334—2018《黄腐酸钾》方法基础上改进了含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵中黄腐酸的检测方法；在中国农业大学曲周实验站进行了矿物源黄腐酸钾磷酸一铵小区试验，验证其田间效果。

1　实验部分

1.1　原料

矿物源黄腐酸钾，w（腐植酸）≥50%，w（黄腐酸）≥50%，w（K_2O）≥12%；磷酸一铵（MAP），规格为 11-44-0，由新洋丰农业科技股份有限公司生产。

1.2　方法

1.2.1　含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵制备工艺

含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵制备工艺流程见图 1。矿物源黄腐酸钾经过计量后添加到磷铵生产工序中浓缩后的料浆缓冲槽中，在缓冲槽内混合均匀后随料浆进喷浆造粒机或喷粉干燥塔，形成粒状或粉状含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵。

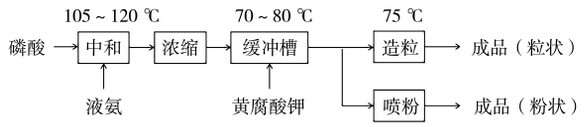


图 1　含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵制备工艺流程

Fig. 1　Production process of monoammonium phosphate containing mineral potassium fulvate

1.2.2　含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵中黄腐酸含量检测

在 HG/T 5334—2018《黄腐酸钾》行业标准方法基础之上进行方法优化，产品称样量调整为 10 g，重铬酸钾浓度调整为 c（1/6$K_2Cr_2O_7$）0.4 mol/L，滴定采用微量滴定管，具体操作方法如下。

称取 10 g 粉碎过的固体肥料（精确至 0.01 g），加入 100 mL 水，置于沸水浴中浸提，每隔 0.5 h 摇动一次。2 h 后取出，冷却至室温，用中速定性滤纸过滤到 250 mL 容量瓶中，用适量蒸馏水将滤纸上不溶物冲洗 3 次，洗涤液加入容量瓶中，加水定容至 250 mL。准确移取 100 mL 试液并转移到烧杯中，用硫酸溶液调节试液 pH 至 1.0，使腐植酸沉淀，通过中速定性滤纸过滤于 250 mL 容量瓶中，用水洗涤沉淀至 pH 近中性，洗涤液加入容量瓶中，定容至 250 mL。试液经去除金属离子、加重铬酸钾溶液氧化，用硫酸亚铁铵标准溶液滴定至终点，同时做空白实验。根据消耗硫酸亚铁铵标准滴定溶液的量和黄腐酸的碳系数计算黄腐酸含量。

1.2.3　含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵的理化性状

参照 GB 10205—2009《磷酸一铵、磷酸二铵》料浆法合格品要求检测产品中全氮、有效磷、水溶磷、粒度、水含量，按照 GB 38400—2019《肥料中有毒有害物质的限量要求》测定重金属含量。

1.2.4　含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵的农学效果验证

2021 年 6 月至 8 月，以小白菜为供试农作物，以不同黄腐酸含量的磷酸一铵为供试肥料，底施含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵产品（每 667 m^2 施用量为 20 kg），在中国农业大学曲周实验站进行了小区验证试验，分别测试收获期小区农作物产量、土壤养分。

2　结果与分析

2.1　含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵中黄腐酸含量检测

优化测定方法前后，含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵中黄腐酸含量检测值与理论值相对偏差对比见表 1。由表 1 可知，优化方法后检测值基本低于理论值，相对偏差在 0 ~ 25.0%，低于优化前标准方法，含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵中黄腐酸含量检测值与理论值基本匹配。

表 1 含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵中黄腐酸检测值与理论值相对偏差对比

Table 1 Deviation between the detection value and theoretical value of fulvic acid in monoammonium phosphate containing mineral potassium fulvate

优化前 HG/T 5334—2018 方法			优化后方法		
理论值 w/%	检测值 w/%	相对偏差/%	理论值 w/%	检测值 w/%	相对偏差/%
0.1	0.23	130.0	0.1	0.10	0
			0.2	0.15	−25.0
0.3	0.38	26.7	0.3	0.23	−23.3
			0.4	0.35	−12.5
0.5	0.42	−16.0	0.5	0.39	−22.0

2.2 含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵理化性状分析

含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵产品养分检测结果见表2。由表2可知，产品 $w(N_{总})$≥10%、$w(P_2O_{5有效})$≥45%、w(总养分)≥55%、$m(P_2O_{5水溶})/m(P_2O_{5有效})$≥70%、1.00 ~ 4.00 mm 颗粒质量占试料的质量分数为 95.32%、$w(H_2O)$≤1%，基础指标符合技术要求。检测了重金属元素砷、汞、铅、镉、铬、铊，检测值符合 GB 38400—2019 中无机肥料有毒有害物质含量限值（见表3）。

表 2 含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵产品养分检测结果

Table 2 Nutrient testing results of monoammonium phosphate product containing mineral potassium fulvate %

肥料	$w(N_{总})$	$w(P_2O_{5有效})$	$w(P_2O_{5水溶})$	1.00 ~ 4.00 mm 颗粒占比	$w(H_2O)$	w(黄腐酸)
MAP	10.8	46.6	36.6	95.3	0.81	0.01
MAP+0.1FA	10.6	45.7	35.8	95.3	0.75	0.10
MAP+0.2FA	10.5	46.1	34.6	95.3	1.06	0.15
MAP+0.3FA	10.6	46.0	34.5	95.3	0.58	0.23
MAP+0.4FA	10.5	46.3	33.2	95.3	0.46	0.35
MAP+0.5FA	10.5	45.8	33.3	95.3	0.44	0.42

注：因产品 $w(K_2O)$ 很低，可忽略。

表 3 含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵产品有毒有害物质检测结果

Table 3 Toxic and harmful substance testing results of monoammonium phosphate product containing mineral potassium fulvate mg/kg

肥料	w(As)	w(Hg)	w(Pb)	w(Cd)	w(Cr)	w(Tl)
MAP	29.9	未检出	未检出	未检出	31.2	未检出
MAP+0.1FA	29.3	未检出	未检出	未检出	34.4	未检出
MAP+0.2FA	28.1	未检出	未检出	未检出	34.8	未检出
MAP+0.3FA	32.3	未检出	未检出	未检出	31.9	未检出
MAP+0.4FA	28.4	未检出	未检出	未检出	31.3	未检出
MAP+0.5FA	28.3	未检出	未检出	未检出	32.1	未检出

2.3 施用含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵对小白菜产量影响

施用不同肥料的小白菜产量及生物量见表4。表4表明，与普通 MAP 相比，添加黄腐酸钾处理可增加小白菜产量，平均增产 14.4%，添加 0.5% 黄腐酸处理产量最高，较普通 MAP 处理增产 25.95%。MAP+黄腐酸钾处理增加了地上部生物量，且地上部干物质量与黄腐酸添加量呈正比，但对根系生物量无显著影响。

表 4 小白菜产量及生物量

Table 4 Yield and biomass of Chinese cabbage

肥料	667 m^2产量/kg	地上部鲜质量/(g·株$^{-1}$)	根系鲜质量/(g·株$^{-1}$)	地上部干质量/(g·株$^{-1}$)	根系干质量/(g·株$^{-1}$)	增产率/%
MAP	1 069.4 ± 283.9b	118.3 ± 29.2b	3.99 ± 0.80b	3.64 ± 0.71b	0.40 ± 0.05a	
MAP+0.1FA	1 102.0 ± 189.1b	124.5 ± 30.0b	3.50 ± 0.44b	3.98 ± 0.73b	0.35 ± 0.16a	3.05
MAP+0.2FA	1 188.8 ± 364.4b	123.2 ± 23.3b	4.01 ± 0.80b	4.56 ± 0.33ab	0.38 ± 0.09a	11.17
MAP+0.3FA	1 308.5 ± 162.2a	125.1 ± 31.9b	3.27 ± 0.89b	4.46 ± 0.69ab	0.35 ± 0.08a	22.36
MAP+0.4FA	1 172.7 ± 286.5b	127.7 ± 30.1b	3.64 ± 0.30b	4.85 ± 0.75ab	0.39 ± 0.11a	9.66
MAP+0.5FA	1 346.9 ± 215.9a	144.0 ± 18.7a	4.37 ± 0.71a	5.31 ± 0.64a	0.46 ± 0.13a	25.95

注：表格数据格式为平均值±标准方差，每列数据后面不同字母表示差异显著（P<0.05），下同。

2.4 施用含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵对土壤养分影响

施用不同肥料的土壤检测结果见表5。由表5数据可以看出，与普通 MAP 处理的土壤相比，添加黄腐酸钾处理的土壤速效钾、有效磷和碱解氮含量降低。

表 5 土壤养分检测结果

Table 5 Soil nutrient testing results

肥料	pH	EC/(μS·cm^{-1})	w(速效 K)/(mg·kg^{-1})	w(有效 P)/(mg·kg^{-1})	w(碱解 N)/(mg·kg^{-1})
MAP	8.2 ± 0.0ab	234.0 ± 9.5a	167.7 ± 44.3a	28.4 ± 3.6a	101.3 ± 4.9a
MAP+0.1FA	8.2 ± 0.0ab	224.3 ± 21.6a	147.2 ± 34.6ab	18.8 ± 2.5b	89.1 ± 6.2bc
MAP+0.2FA	8.2 ± 0.0a	234.0 ± 12.4a	123.0 ± 27.5ab	20.8 ± 4.ab	86.1 ± 1.9bc
MAP+0.3FA	7.9 ± 0.1bc	224.7 ± 9.3b	113.8 ± 16.3b	18.2 ± 2.5b	82.4 ± 9.5bc
MAP+0.4FA	7.7 ± 0.2c	252.7 ± 40.4a	147.0 ± 23.9ab	20.6 ± 0.6ab	93.9 ± 12.6ab
MAP+0.5FA	8.1 ± 0.0ab	247.7 ± 16.2a	160.7 ± 28.7ab	25.5 ± 8.8ab	84.5 ± 10.6bc

3　讨论

矿物源黄腐酸在磷酸一铵中已有普遍应用，但肥料中黄腐酸检测方法较少。现行方法GB/T 34765—2017《矿物源黄腐酸含量的测定》、NY/T 3162—2017《肥料中黄腐酸含量的测定 容量滴定法》、HG/T 5334—2018《黄腐酸钾》、HG/T 3276—2019《腐植酸铵肥料分析方法》，基本针对黄腐酸原料中高含量黄腐酸的检测，而黄腐酸作为生物刺激素在肥料中添加量少，以上方法不适合检测磷酸一铵中微量黄腐酸。经综合对比各方法后，对HG/T 5334—2018方法改进后检测准确度提高，检测结果更接近真实值。主要改进方式：（1）增大测试样品取样量，增加了黄腐酸的检测量，减少检测误差；（2）降低重铬酸钾浓度，即保证了黄腐酸氧化完全，又减少了重铬酸钾氧化剂用量和硫酸亚铁铵返回滴定量，同样减少误差；（3）采用微量滴定管可提高滴定的精度。

经检测，含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵中黄腐酸含量检测值与理论值基本匹配，认为在HG/T 5334—2018基础上改良方法可检测含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵中黄腐酸的含量。

黄腐酸可增加农作物产量和改善品质。矿物源黄腐酸的主要来源为矿物源黄腐酸钾，叶面喷施黄腐酸钾和采用黄腐酸钾拌种均可提高大豆产量[12]，施用含黄腐酸复合肥可以使小麦产量提高8.70%[13]。黄腐酸复合肥可以一定程度上促进水稻分蘖期和灌浆期的生长势、促进水稻增产、改善稻米品质，且矿物源黄腐酸与复合肥结合的效果优于生物源黄腐酸[14]。冲施不同浓度矿物源黄腐酸钾处理黄瓜生长性状、果实产量有所改善[15]。控释尿素配施黄腐酸可协同增效，满足小麦各生育期氮素需求，一次性基施显著提高小麦中后期土壤养分供应强度，显著提高了小麦产量、肥料利用率和净收益[16]。本研究同样表明，磷酸一铵中添加黄腐酸增加了小白菜产量。

黄腐酸能提高肥效和肥料利用率。黄腐酸含羧基、酚羟基等官能团，有较强的络合、螯合和表面吸附能力，能促进植物对养分的转运和吸收。黄腐酸与尿素混合施用，可以减少氨的挥发[17]，可以有效提高土壤硝态氮、铵态氮的含量，提高养分供应强度[18]；黄腐酸可以抑制土壤对水溶性磷的固定，增加磷在土壤中移动距离，提高有效磷含量，促进根系对磷的吸收；还可以吸收存储钾离子，提高有效钾含量，对钾肥的增效作用显著[19-20]。本研究中，在肥料养分投入相同的情况下，小白菜收获后，含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵处理的土壤速效钾、有效磷、碱解氮等指标都低于普通MAP处理，这可能与黄腐酸活化土壤养分、增强农作物对养分的吸收和转运有关。等养分投入下，含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵处理的小白菜产量高于普通MAP处理，也从一定程度上佐证了黄腐酸具有活化养分、促进农作物吸收、提高肥料养分利用率的作用。

HG/T 5934—2021《黄腐酸中量元素肥料》、HG/T 5935—2021《黄腐酸微量元素肥料》规定矿物源黄腐酸质量分数（以干基计）≥25%，不同矿源和生产工艺的黄腐酸效果会有差异。本研究综合成本和效果因素发现黄腐酸质量分数高于0.3%后，产量的增加量呈现递减趋势，投入与产出之间符合报酬递减规律，推荐含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵产品中黄腐酸的添加量为0.3%。

4　结论

在磷酸一铵的生产过程中加入矿物源黄腐酸钾，可以制成含一定量黄腐酸钾的磷酸一铵，理化性状符合磷酸一铵标准规定。在HG/T 5334—2018检测方法的基础上通过增大称样量、降低重铬酸钾浓度、采用微量滴定管滴定等一系列改进后的方法，适合磷酸一铵中微量黄腐酸的检测。含矿物源黄腐酸钾磷酸一铵能够提高小白菜的产量，一定程度上提高了肥料养分利用率。

［参考文献］

［1］ 安迪，杨令，王冠达，等.磷在土壤中的固定机制和磷肥的高效利用[J].化工进展，2013，32(8)：1967-1973.
AN D，YANG L，WANG G D，et al. Mechanisms of phosphorus fixation in soils and efficient utilization of phosphate fertilizer[J]. Chemical Industry and Engineering Progress，2013，32(8)：1967-1973.

［2］ 程明芳，何萍，金继运.我国主要作物磷肥利用率的研究进展[J].作物杂志，2010(1)：12-14.
CHENG M F，HE P，JIN J Y. Advance of phosphate recovery rate in Chinese main crops[J]. Crops，2010(1)：12-14.

［3］ 张福锁，王激清，张卫峰，等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报，2008，45(5)：915-924.
ZHANG F S，WANG J Q，ZHANG W F，et al. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in china and measures for improvement[J]. Acta Pedologica Sinica，2008，45(5)：915-924.

［4］ 张玉兰，王俊宇，马星竹，等.提高磷肥有效性的活化技术研究进展[J].土壤通报，2009，40(1)：194-202.
ZHANG Y L，WANG J Y，MA X Z，et al. Advances on Activating Technique Research in Improving the Validity of Phosphorus Fertilizer[J]. Chinese Journal of Soil Science，2009，40(1)：

194–202.

[5] YAKHIN O I,LUBYANOV A A,YAKHIN I A,et al. Biostimulants in plant science: a global perspective [J]. Frontiers in Plant Science, 2017, 7:2049.

[6] DU JARDIN P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation [J]. Scientia Horticulturae, 2015, 196 (30):3–14.

[7] 张水勤,袁亮,林治安,等.腐植酸促进植物生长的机理研究进展[J].植物营养与肥料学报,2017,23(4):1065–1076.
ZHANG S Q, YUAN L, LIN Z A, et al. Advances in humic acid for promoting plant growth and its mechanism[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2017,23(4):1065–1076.

[8] 张丽丽,史庆华,巩彪.中、碱性土壤条件下黄腐酸与磷肥配施对番茄生育和磷素利用率的影响[J].中国农业科学,2020,53 (17):3567–3575.
ZHANG L L, SHI Q H, GONG B. Application of fulvic acid and phosphorus fertilizer on tomato growth, development, and phosphorus utilization in neutral and alkaline soil [J]. Scientia Agricultural Sinica,2020,53(17):3567–3575

[9] 李见云,化全县,牛俊玲,等.磷肥增效技术研究进展[J].磷肥与复肥,2007,22(5):64–65.
LI J Y, HUA Q X, NIU J L, et al. Research progress on technology of increasing phosphorus efficiency [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2007,22(5):64–65.

[10] 魏红珍.黄腐酸钾市场现状及发展前景[J].盐科学与化工,2020,49(3):6–7,16.
WEI H Z. Market status and development prospect of potassium fulvate [J]. Journal of Salt Science and Chemical Industry, 2020, 49(3): 6–7,16.

[11] 张春练,娄奥林,曾令强,等.矿源黄腐酸和生化黄腐酸异同以及作用机理浅析[J].安徽化工,2021,47(5):55–57.
ZHANG C L, LOU A L, ZENG L Q, et al. Similarities and Differences between Mineral Fulvic Acid and Biochemical Fulvic Acid and Their Action Mechanism[J]. Anhui Chemical Industry, 2021, 47(5): 55–57.

[12] 张昭会,李放,朱琳,等.矿源黄腐酸钾施用方法对大豆产量的影响[J].化肥工业,2019,46(2):65–69.
ZHANG Z H, LI F, ZHU L, et al. Effect of mineral source fulvic acid potassium application method on soybean yield[J]. Chemical Fertilizer Industry, 2019,46(2):65–69.

[13] 袁子琪,韩哲,陈登论,等.黄腐酸复合肥对土壤养分及小麦生长的影响[J].腐植酸,2020(6):38–43.
YUAN Z Q, HAN Z, CHEN D L, et al. Effects of fulvic acid compound fertilizer on soil nutrients and wheat growth[J]. Humic Acid, 2020(6):38–43.

[14] 马晓晶,张洪江,刘光海,等.黄腐酸复合肥对水稻生长和产量的影响[J].腐植酸,2021(4):43–49.
MA X J, ZHANG H J, LIU G H, et al. Effects of fulvic acid compound fertilizers on growth and yield of rice[J]. Humic Acid, 2021(4):43–49.

[15] 郎朗,张星,李任丰,等.施用矿物源黄腐酸钾对黄瓜生长、产量及土壤的影响[J].腐植酸,2020(2):56–59.
LANG L, ZHANG X, LI R F, et al. Effects of Mineral Potassium Fulvate on Soil and the Growth, Yield of Cucumber[J]. Humic Acid, 2020(2):56–59.

[16] 李泽丽,刘之广,张民,等.控释尿素配施黄腐酸对小麦产量及土壤养分供应的影响[J].植物营养与肥料学报,2018,24(4): 959–968.
LI Z L, LIU Z G, ZHANG M, et al. Effects of controlled release urea combined with fulvic acid on wheat yield and soil physical and chemical properties [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2018,24(4):959–968.

[17] 侯晓娜,王旭.黄腐酸和聚天冬氨酸对蕹菜氮素吸收及氮肥去向的影响[J].中国土壤与肥料,2014(1):48–52.
HOU X N, WANG X. Effects of fulvic acid and polyaspartic acid on nitrogen uptake and fate of nitrogen fertilizer in water spinach [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2014(1):48–52.

[18] 韩桂莲.矿源黄腐酸对肥料时增效作用[N].山东科技报,2016–12–05(006).
HAN G L. The synergistic effect of mineral fulvic acid on fertilizer [N]. Shandong Science and Technology News,2016–12–05(006).

[19] 华文.黄腐酸提高肥料利用率20%以上[N].江苏农业科技报,2018–01–03(005).
HUA W. Fulvic acid improves the fertilizer utilization rate by more than 20%[N]. Jiangsu Agricultural Science and Technology News, 2018–01–03(005).

[20] 姚媛媛,王晓琪,杨越超,等.控释尿素与黄腐酸提高稻麦轮作系统产量和效益的协同效应[J].植物营养与肥料学报,2019, 25(12):2122–2132.
YAO Y Y, WANG X Q, YANG Y C, et al. Yield and economic profit synergism of controlled release urea and fulvic acid in rice–wheat rotation system [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2019,25(12):2122–2132.