光合细菌菌剂与噻唑膦协同使用对水稻根结线虫病防治研究

吕 军[1], 王东伟[2], 王 剑[3], 唐 蓓[2], 张德咏[2], 刘 勇[2], 成飞雪[2*]

(1. 湖南省岳阳市平江县植保植检站, 岳阳 414500; 2. 湖南省农业科学院植物保护研究所, 长沙 410125;
3. 湖南省农业科学院农业经济与农业区划研究所, 长沙 410125)

摘要 水稻根结线虫病近年来对我国的水稻生产造成了严重危害。探索低成本、高效安全的水稻根结线虫病防治方法对减少其危害具有极其重要的意义。本研究通过田间小区试验评价了光合细菌微生物菌剂与噻唑膦协同使用对水稻根结线虫病的防治效果及对水稻生产的影响。结果显示,利用光合细菌微生物菌剂 1 L/667m^2 与 10%噻唑膦 GR 0.10 kg/667m^2 协同作用能显著降低稻田拟禾本科根结线虫 2 龄幼虫种群密度,减少发病株率与根结指数,35 d 和 70 d 对水稻根结线虫病的防治效果分别达到 76.94%和 89.99%,与 10%噻唑膦 GR 0.15 kg/667m^2 单剂处理在发病株率以及 70 d 防治效果、虫口减退率等不存在显著差异。利用光合细菌微生物菌剂与噻唑膦协同使用后,可减少噻唑膦药剂对水稻生长产生的抑制作用,增加作物产量,其增产率达到 19.48%,显著高于 10%噻唑膦 GR 0.15 kg/667m^2 单剂的使用效果。试验表明通过光合细菌微生物菌剂与噻唑膦协同应用,能减少化学杀线剂的使用,降低线虫抗药性的产生和环境污染的风险。此外,通过联合使用还能解决微生物杀线剂速效性差、防效较低等缺点,不失为一种高效绿色的水稻根结线虫病防治方法。

关键词 水稻根结线虫病; 光合细菌微生物菌剂; 噻唑膦; 协同作用; 防治效果

中图分类号: S435.11 **文献标识码:** B **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2020566

Synergistic effect of photosynthetic bacteria microbial agent and fosthiazate to rice root-knot nematode disease

LÜ Jun[1], WANG Dongwei[2], WANG Jian[3], TANG Bei[2], ZHANG Deyong[2], LIU Yong[2], CHENG Feixue[2*]

(1. *Pingjiang Plant Protection and Quarantine Station, Yueyang City, Hunan Province, Yueyang* 414500, *China*; 2. *Institute of Plant Protection, Hunan Academy of Agricultural Science, Changsha* 410125, *China*; 3. *Agricultural Economy and Regional Planning Research Institute, Hunan Academy of Agricultural Science, Changsha* 410125, *China*)

Abstract Rice root-knot nematode disease is one of the serious diseases in rice production in recent years. It is very important to explore a low-cost, effective and safe method for the disease control. In this study, synergistic effects of photosynthetic bacteria microbial agent and fosthiazate to control rice root-knot nematode disease were evaluated by field trials. The results showed that photosynthetic bacteria at 1 L/667m^2 combined with fosthiazate 10% GR at 0.10 kg/667m^2 could not only significantly reduce the population density of the second stage juveniles of *Meloidogyne graminicola* in paddy field, but also reduce the incidence and root-knot index. The control efficacies of rice root-knot nematode 35 d and 70 d were 76.94% and 89.99%, respectively, and there was no significant difference in the rate of infected plants, the control efficacy of 70 days and the decline rate of *M. graminicola* population compared with the treatment of 10% fosthiazate GR at 0.15 kg/667m^2. Meanwhile, the use of photosynthetic bacteria microbial agents combined with fosthiazate can reduce the inhibitory effect of fosthiazate on rice growth and increase the rice yields. The yield increase rate reached 19.48%, significantly higher than that of fosthiazate 10% GR at 0.15 kg/667m^2. The results indicated that using combination of

收稿日期: 2020-10-27 **修订日期:** 2021-01-14
基金项目: 国家自然科学基金(31871941); 长沙市自然科学基金(Kq2014177)
* 通信作者 E-mail:cfx937207@126.com

photosynthetic bacteria microbial agents and fosthiazate can reduce the use of chemical nematicides and decrease environmental pollution, and reduce the resistance of nematodes. In addition, the combined use of microbial nematicides can solve the problems of poor quick-acting and low control effect of microbial nematicides, which can be regarded as an efficient and green method.

Key words rice root-knot nematode disease; photosynthetic bacteria microbial agent; fosthiazate; synergism; control effect

水稻 *Oryza sativa* L. 是世界范围内广泛种植的主要粮食作物,中国是世界上主要的水稻种植区之一,水稻产量约占全球水稻总产量的 35%[1-2]。拟禾本科根结线虫 *Meloidogyne graminicola* 是一种严重危害水稻生产的植物病原线虫[3],在我国海南省三亚市的葱 *Allium fistulosum* 上最先发现和鉴定了拟禾本科根结线虫[4]。目前在我国的河南、安徽、江苏、江西、四川、湖南、湖北、福建、广东、广西、云南等多省市的水稻产区大面积发生和危害[5-8],造成高达 73% 的水稻产量损失,甚至绝产[9-10]。据我们 2016 年—2020 年调查结果显示,湖南长沙、湘潭、株洲、常德、益阳、岳阳、衡阳、邵阳和永州等地市均有水稻根结线虫病的发生和危害,且发病面积逐年扩大,扩散蔓延迅速[11],已成为严重制约湖南直播水稻生产的重要因素。因此,迫切需要寻找高效绿色的水稻根结线虫病防控新方法。

长期以来植物线虫病的防治基本依赖于化学杀线剂,如利用棉隆、氯化苦、石灰氮、辣根素等进行土壤消毒防治线虫病害,但是由于这些药剂使用成本高、施用方式繁琐,且主要用于旱地作物线虫病害防治,难以应用于水稻田根结线虫病防治。所以,生产上许多农户利用克百威、灭线磷以及甲拌磷等高毒、高残留、且严重污染环境的杀线剂来控制水稻根结线虫病,随着人们对农产品品质要求的提高,这些杀线剂受到严格的限制,而逐步退出应用市场[12]。光合细菌菌剂是由湖南省植物保护研究所研制的一种微生物杀线虫剂,不仅能有效抑制作物线虫病害,还能促进作物生长,增加作物产量。噻唑膦是作物线虫病害防治中的一种重要杀线剂,被广泛应用于旱地作物线虫病害防治,但由于其成本较高,其在水稻根结线虫病田间防治上的应用研究仍较匮乏。本试验开展光合细菌微生物菌剂与噻唑膦协同应用对水稻根结线虫病的防治效果,旨在找到一种高效绿色、低成本的水稻根结线虫病防治技术。

1　材料与方法

1.1　材料

供试水稻品种为'湘早籼 45',购于湖南省乐丰种业有限公司。10% 噻唑膦颗粒剂(GR),日本石原产业株式会社;41.7% 氟吡菌酰胺悬浮剂(SC),拜耳股份公司。试验地设在湖南省岳阳市平江县安定镇上黄村(113°35′E,28°42′N)。试验地为黏性土壤,肥力中等,连续多年水稻根结线虫病严重发生。

1.2　方法

1.2.1　处理方法

水稻播种:2020 年 3 月 19 日翻耕整地,划分小区,每小区面积约 130 m^2,每小区设置独立排灌水沟,随机区组排列。水稻播种量为 1.50 kg/667m^2。3 月 23 日浸种催芽,3 月 26 日播种,播种方式为直播。试验期间肥水管理及其他病虫草害防治均与当地农田管理相同。

药剂处理:试验设置 4 个处理,分别为 10% 噻唑膦 GR 有效成分 0.15 kg/667m^2、10% 噻唑膦 GR 有效成分 0.10 kg/667m^2 + 1 L/667m^2 光合细菌菌剂、41.7% 氟吡菌酰胺 SC 有效成分 41.70 g/667m^2。同时设空白对照处理,每处理 3 个重复。10% 噻唑膦 GR 兑土撒施,41.7% 氟吡菌酰胺 SC 兑水喷施,于播种前施药旋耕混匀,保持土壤湿润,后期田间管理如常。光合细菌菌剂于水稻出苗后 15 d 开始施用,分 3 次兑水喷雾,每次间隔 7 d。

1.2.2　调查方法

1.2.2.1　根结线虫病田间发病率及线虫密度调查

水稻播种 35 d 和 70 d 后,每小区随机进行五点取样,对水稻根结线虫病发生情况进行调查,每点取 2 蔸水稻植株,每小区共取 10 蔸植株及其根际土壤,分别放入取样袋中带回实验室。在实验室用自来水将水稻根部洗净后,根据水稻根部根结线虫的发生和发病情况,调查水稻植株发病株率,并统计根结指数,计算不同处理的防治效果。根结指数分级

采用 Poudyal 等[13]的分级标准：根部无根结，为 0 级；根部根结数量极少且小，不易观察，为 1 级；根结数量稍多，根结较小，易观察，为 2 级；根结数量较多且缠绕在一起，根结较小，根部功能未受明显影响，为 3 级；根结较大且数量多，但大部分根系功能尚正常，为 4 级；水稻根系 25%～49%的根上有根结，且大部分根系功能受到影响，为 5 级；50%～74%的根上有根结，根部功能受到明显影响，为 6 级；75%以上根部有根结，根部失去正常功能，为 7 级；无健康根系，但植株仍存活，为 8 级；整个根部出现腐烂，植株枯萎并趋于死亡，定为 9 级；整个植株死亡，为 10 级。根结指数＝∑(各级病株数×相应级数)/(调查总株数×最高级代表值)×100；防治效果＝(对照根结指数－处理根结指数)/对照根结指数×100%。此外，水稻根际土样室内自然风干混匀后，取 100 g 土样，利用改进的贝曼漏斗法[14]分离土壤中的拟禾本科根结线虫的二龄幼虫(J_2)和雄虫，在倒置显微镜下统计线虫数，并计算土壤中拟禾本科根结线虫 J_2 虫口减退率。虫口减退率＝[(对照 2 龄幼虫数量－处理 2 龄幼虫数量)/对照 2 龄幼虫数量]×100%。

1.2.2.2 不同处理对水稻生长及产量的影响

水稻播种 35 d 和 70 d 后，每小区随机取 10 株水稻，测量株高和根长。并于水稻生长 104 d 后测产。每小区在同一纬度选取面积为 1 m^2 的水稻，收割后调查水稻产量，计算水稻增产率。增产率＝(处理组产量－对照组产量)/对照组产量×100%。

1.2.3 数据分析

运用 SPSS 13.0 软件对所有统计数据进行单因素方差分析，采用 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性分析($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 光合细菌菌剂与噻唑膦协同使用对水稻根结线虫病田间防治效果

播种 35 d 调查结果显示(表 1)，不同药剂处理对发病株率、根结指数以及土壤中 2 龄幼虫的虫口密度都有显著影响($P<0.05$)。其中 10%噻唑膦 GR 0.15 kg/667m^2 单剂处理效果最好，其发病株率仅为 7.69%，防效达到了 84.63%，而空白对照发病株率高达 71.78%。10%噻唑膦 GR 0.10 kg/667m^2 与光合细菌微生物菌剂协同作用在发病株与 10%噻唑膦单剂处理没有显著差异($P>0.05$)，而前者处理后田间虫口减退率显著优于 10%噻唑膦 GR 0.15 kg/667m^2 单剂处理组，达到 74.70%。10%噻唑膦 GR 单剂处理组或噻唑膦 GR 与光合细菌协同处理组对发病株率的抑制效果及对水稻根结线虫病的防治上都显著好于对照药剂 41.7%氟吡菌酰胺 SC 41.70 g/667m^2 处理组($P<0.05$)。

70 d 的调查结果表明，10%噻唑膦 GR 0.10 kg/667m^2 与光合细菌微生物菌剂协同处理对水稻根结线虫病防治效果达到 89.99%，优于 10%噻唑膦 GR 0.15 kg/667m^2 单剂处理(86.52%)，但差异不显著，可能与前期对土壤中根结线虫 J_2 减退率高存在较大关系。而对照药剂 41.7%氟吡菌酰胺 SC 41.70 g/667m^2 对水稻根结线虫病的防效仅 38.14%，显著低于 10%噻唑膦 GR 单剂处理及噻唑膦 GR 与光合细菌微生物菌剂协同使用效果($P<0.05$)，说明其在防治水稻根结线虫病上的持久性较差。而各处理与对照相比，都能显著降低土壤中根结线虫 2 龄幼虫的虫口密度($P<0.05$)，减少拟禾本科根结线虫对水稻后期的危害。

2.2 光合细菌菌剂与噻唑膦协同使用对水稻生长及产量的影响

处理后 35 d 调查结果显示，各处理组对水稻株高及根长都存在一定影响，以 10%噻唑膦 GR 0.10 kg/667m^2 与光合细菌协同使用处理组最利于水稻生长，其株高和根长的增长率分别达到 6.97%和 14.55%，与 10%噻唑膦 GR 单剂(增长率分别为 0.31%和 7.35%)及对照药剂 41.7%氟吡菌酰胺 SC 处理(5.80%和 8.52%)，差异达到显著性水平($P<0.05$)。

70 d 调查结果显示，10%噻唑膦 GR 处理在后期对水稻生长出现了较大的抑制作用，对水稻根生长抑制尤为明显。10%噻唑膦 GR 单剂处理组与对照组相比，株高和根长的增长率分别为－2.01%和－19.03%。而 10%噻唑膦 GR 与光合细菌微生物协同使用，能显著减轻噻唑膦对水稻生长的抑制作用($P<0.05$)，与对照相比，其对水稻株高和根长的增长率分别为－0.66%和－9.31%。

同时由表 3 可见，水稻有效穗率在各处理组间差异不显著，但 10%噻唑膦 GR 与光合细菌菌剂协同使用对水稻千粒重及产量存在显著影响($P<0.05$)，与对照相比，其千粒重与产量增长率分别达到了 5.61%和 19.48%，显著高于 10%噻唑膦 GR 单剂处理和对照药剂 41.7%氟吡菌酰胺 SC 处理组($P<0.05$)。

表 1　光合细菌微生物菌剂与 10%噻唑膦 GR 对水稻根结线虫病的防治效果[1)]

Table 1　Effects of fosthiazate 10% GR and microbial inoculum of photosynthetic bacteria on rice root-knot nematode disease

处理 Treatment	播种后 35 d　35 d after sowing				
	发病株率/% Diseased plant rate	根结指数 Root-knot index	防治效果/% Control efficacy	土壤中 2 龄幼虫数量/条·(100 g)$^{-1}$ J_2 number in 100 g soil	虫口减退率/% Decreased rate of nematode
10%噻唑膦 GR 0.15 kg/667m^2 fosthiazate 10% GR 0.15 kg/667m^2	(7.69±1.09)c	(5.20±0.32)d	(84.63±0.95)a	(27.07±3.28)b	(40.28±7.24)b
10%噻唑膦 GR 0.10 kg/667m^2+光合细菌菌剂 fosthiazate 10% GR 0.10 kg/667m^2+ microbial inoculum of photosynthetic bacteria	(8.33±1.18)c	(7.80±0.54)c	(76.94±1.60)b	(11.47±2.92)c	(74.70±6.44)a
41.7%氟吡菌酰胺 SC 41.70 g/667m^2 fluopyram 41.7% SC 41.70 g/667m^2	(19.95±1.50)b	(9.70±1.11)b	(71.33±3.27)c	(27.27±5.56)b	(39.84±8.96)b
空白对照　Blank control	(71.78±2.42)a	(33.83±2.37)a	—	(45.33±5.76)a	—
处理 Treatment	播种后 70 d　70 d after sowing				
	发病株率/% Diseased plant rate	根结指数 Root-knot index	防治效果/% Control efficacy	土壤中 2 龄幼虫数量/条·(100 g)$^{-1}$ J_2 number in 100 g soil	虫口减退率/% Decreased rate of nematode
10%噻唑膦 GR 0.15 kg/667m^2 fosthiazate 10% GR 0.15 kg/667m^2	(12.12±1.13)c	(1.83±0.33)c	(86.52±2.45)a	(14.66±4.66)b	(71.25±9.08)a
10%噻唑膦 GR 0.10 kg/667m^2+光合细菌菌剂 fosthiazate 10% GR 0.10 kg/667m^2+ microbial inoculum of photosynthetic bacteria	(10.36±0.47)c	(1.36±0.17)c	(89.99±1.23)a	(17.93±3.79)b	(64.84±7.42)a
41.7%氟吡菌酰胺 SC 41.70 g/667m^2 fluopyram 41.7% SC 41.70 g/667m^2	(30.30±4.28)b	(8.40±0.37)b	(38.14±2.72)b	(23.80±8.02)b	(53.33±15.72)a
空白对照　Blank control	(79.26±4.29)a	(13.58±0.75)a	—	(51.00±6.05)a	—

1) 光合细菌菌剂施用量为 1 L/667m^2 表中数据为平均值±标准差。同列不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 0.05 水平差异显著。下同。

Microbial inoculum of photosynthetic bacteria is 1 L/667m^2. The data are mean±SD. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level by Duncan's new multiple range test. The same applies below.

表 2　光合细菌微生物菌剂与 10%噻唑膦 GR 对水稻生长的影响

Table 2　Effects of fosthiazate 10% GR and microbial inoculum of photosynthetic bacteria on rice growth

处理 Treatment	播种后 35 d　35 d after sowing			
	株高/cm Plant height	增长率/% Growth rate	根长/cm Root length	增长率/% Growth rate
10%噻唑膦 GR 0.15 kg/667m^2 fosthiazate 10% GR 0.15 kg/667m^2	(12.96±0.44)ab	(0.31±0.06)c	(7.30±0.15)b	(7.35±0.19)b
10%噻唑膦 GR 0.10 kg/667m^2+光合细菌菌剂 fosthiazate 10% GR 0.10 kg/667m^2+ microbial inoculum of photosynthetic bacteria	(13.82±0.40)a	(6.97±0.63)a	(7.79±0.11)a	(14.55±1.08)a
41.7%氟吡菌酰胺 SC 41.70 g/667m^2 fluopyram 41.7% SC 41.70 g/667m^2	(13.67±0.08)a	(5.80±0.15)b	(7.38±0.10)b	(8.52±0.23)b
空白对照　Blank control	(12.92±0.62)b	—	(6.80±0.13)c	—
处理 Treatment	播种后 70 d　70 d after sowing			
	株高/cm Plant height	增长率/% Growth rate	根长/cm Root length	增长率/% Growth rate
10%噻唑膦 GR 0.15 kg/667m^2 fosthiazate 10% GR 0.15 kg/667m^2	(53.22±0.80)c	(−2.01±1.48)c	(11.83±0.29)d	(−19.03±1.95)c
10%噻唑膦 GR 0.10 kg/667m^2+光合细菌菌剂 fosthiazate 10% GR 0.10 kg/667m^2+ microbial inoculum of photosynthetic bacteria	(53.95±0.22)c	(−0.66±0.41)b	(13.25±0.34)c	(−9.31±2.35)b
41.7%氟吡菌酰胺 SC 41.70 g/667m^2 fluopyram 41.7% SC 41.70 g/667m^2	(55.58±0.28)a	(2.33±0.52)a	(16.07±0.21)a	(9.95±1.42)a
空白对照　Blank control	(54.31±0.25)b	—	(14.61±0.35)b	—

表 3 光合细菌微生物菌剂与 10%噻唑膦 GR 对水稻产量的影响

Table 3 Effects of fosthiazate 10% GR and microbial inoculum of photosynthetic bacteria on rice yield

处理 Treatment	有效穗率/% Effective panicle rate	千粒重/g Thousand grain weight	增长率/% Growth rate	产量/ kg·(667m²)⁻¹ Yield	增长率/% Increase rate
10%噻唑膦 GR 0.15 kg/667m² fosthiazate 10% GR 0.15 kg/667m²	(96.73±1.85)a	(24.77±0.33)b	(2.91±1.05)b	(368.29±9.33)b	(12.12±1.89)b
10%噻唑膦 GR 0.10 kg/667m²+光合细菌菌剂 fosthiazate 10% GR 0.10 kg/667m²+ microbial inoculum of photosynthetic bacteria	(98.89±0.86)a	(25.42±0.16)a	(5.61±0.68)a	(392.48±17.52)a	(19.48±3.55)a
41.7%氟吡菌酰胺 SC 41.7 g/667m² fluopyram 41.7% SC 41.70 g/667m²	(98.05±1.43)a	(24.72±0.31)b	(2.70±0.45)b	(359.45±13.53)b	(9.43±2.75)b
空白对照 Blank control	(97.95±0.70)a	(24.07±0.20)c	—	(328.48±19.12)c	—

3 讨论

近年来，由于农村劳动用工紧缺、工价上涨等原因，具有节本增收、省时、省力等优点的水稻直播栽培方式逐渐受到广大种植户的青睐，种植面积不断扩大。然而直播水稻的栽培条件适宜于拟禾本科根结线虫的生长，使其在水稻或其他寄主（主要为水稻田间杂草）根部定殖后快速进行繁殖，并随着水流、肥料及农事活动而迅速扩散，导致水稻根结线虫病发生危害严重，扩散蔓延迅速。此外，拟禾本科根结线虫寄主范围广，在水稻收获后能继续在田间杂草或稻桩上繁殖越冬，导致虫口基数大，直播稻在出苗几天后就会受到侵染危害，20 d 左右就开始出现典型病害症状，使水稻产量损失严重。尽管水稻根结线虫病发生危害严重，但是当前农业生产上能有效防控水稻根结线虫病的方法并不多。在植物根结线虫病害防治中种植抗病品种是最为经济有效的防治方法，然而对拟禾本科根结线虫具有抗、耐性的水稻品种并不多。所以，化学杀线虫剂在水稻根结线虫病防治中仍将发挥重要作用。目前农业生产上旱地作物根结线虫病害防治上较常用的办法是利用棉隆、氯化苦、石灰氮等化学杀线剂进行土壤熏蒸，但是这些方法使用成本高，田间应用技术复杂，导致农民接受程度差，限制了其在水稻根结线虫病防控中的作用。氟吡菌酰胺是拜耳公司近年来推出的一种杀线虫新型药剂，有研究结果表明，利用 12.5 g 氟吡菌酰胺与 18.0 g 吡虫啉混配对 1 kg 水稻种子进行包衣处理，对田间水稻根结线虫病的防治效果可达 58.6%，且可以显著减少土壤中拟禾本科根结线虫 2 龄幼虫的数量，在田间水稻根结线虫病防治上具有较大的应用潜力[15]。但由于氟吡菌酰胺价格贵，使用成本较高，农民较难接受。

噻唑膦是一种具有内吸和触杀作用的低毒杀线虫剂，对根结线虫、孢囊线虫、根腐（短体）线虫、茎线虫等有较好的防治效果。该杀线虫剂最先由日本石原产业公司开发生产，目前该产品已经实现国产化，使用成本相对较低。该杀线虫剂主要用于旱地作物线虫病害防治，对水稻根结线虫病的防治效果研究较少。芮凯等[16]评价了包括 10%噻唑膦 GR 在内的 6 种杀线虫剂对水稻根结线虫病的防治效果，表明 10%噻唑膦 GR 有效成分用量 0.20 kg/667m² 处理对水稻根结线虫 30 d 和 60 d 的防治效果分别达到了 81.63%和 78.75%。但是该研究并未涉及噻唑膦对水稻生长及产量等的影响。而我们前期的研究表明，10%噻唑膦 GR 对控制水稻根结线虫病具有较好的防治效果，但是剂量过高会对水稻生长产生较大的影响[17]。同时长期大量使用化学杀线剂，会导致线虫抗药性的产生。光合细菌是一种对植物线虫病害具有一定防治效果的生防微生物制剂，该菌剂对环境友好无污染。本研究通过田间小区试验评价了 10%噻唑膦 GR 与光合细菌微生物菌剂协同施用对水稻根结线虫病的防治效果。研究结果表明，10%噻唑膦 GR 0.10 kg/667m² 与光合细菌菌剂 1 L/667m² 协同施用处理不仅能显著抑制稻田拟禾本科根结线虫 2 龄幼虫数量，35 d 和 70 d 对水稻根结线虫病的防治效果也分别达到了 76.94%和 89.99%，显著高于对照药剂 41.7%氟吡菌酰胺 SC 41.7 g/667m² 对水稻根结线虫病的防治效果。利用光合细菌微生物菌剂与噻唑膦协同作用防治水稻根结线虫病，减少化学杀线剂的使用，不仅能减轻噻唑膦对水稻生长的影响，降低线虫抗药性产生和环境污染的风险，还能解决微生物杀线虫剂在线虫病害防治上速效性差、防效较低等缺陷，达到取长补短、协同增效的作用，有效解决水稻生产中根结线虫病的危害。所以，两者协同施用，对水稻产业的可持续发展具有极其重要的作用，在生产上值得推广使用。

参考文献

[1] 吉星星. 我国水稻主产区生产效率及技术进步模式研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2016.

[2] 罗激光,符美英,芮凯, 等. 水稻根结线虫病的病原鉴定及同源性分析[J]. 分子植物育种, 2018, 16(18): 6150 - 6155.

[3] LE H T T, PADGHAM J L, SIKORA R A. Biological control of the rice root-knot nematode *Meloidogyne graminicola* on rice, using endophytic and rhizosphere fungi [J]. International Journal of Pest Management, 2009, 55(1): 31 - 36.

[4] 赵洪海,刘维志,梁晨,等. 根结线虫在中国的一新记录种——拟禾本科根结线虫 *Meloidogyne graminicola* [J]. 植物病理学报, 2001,31(2): 184 - 188.

[5] 刘国坤, 王玉, 肖顺,等. 水稻根结线虫病的病原鉴定及其侵染源的研究[J]. 中国水稻科学, 2011, 25(4): 420 - 426.

[6] SONG Zhiqiang, ZHANG Deyong, LIU Yong, et al. First report of *Meloidogyne graminicola* on rice (*Oryza sativa*) in Hunan province, China [J]. Plant Disease, 2017, 101(12): 2153.

[7] TIAN Zhongling, BARSALOTE E, LI Linxiao, et al. First report of root-knot nematode, *Meloidogyne graminicola*, on rice in Zhejiang, Eastern China [J]. Plant Disease, 2017,101(12):2152.

[8] JU Yuliang, WU Xun, TAN Genjia, et al. First report of *Meloidogyne graminicola* on rice in Anhui province, China [J]. Plant Disease, 2021, 105(2):512.

[9] SORIANO I R S, PROT J C, MATIAS D M. Expression of tolerance for *Meloidogyne graminicola* in rice cultivars as affected by soil type and flooding [J]. Journal of Nematology, 2000, 32(3): 309 - 317.

[10] MANTELIN S, BELLAFIORE S, KYNDT T. *Meloidogyne graminicola*: a major threat to rice agriculture [J]. Molecular Plant Pathology, 2017, 18(1): 3 - 15.

[11] HE Qingcong, WANG Dongwei, TANG Bei, et al. Rapid and sensitive detection of *Meloidogyne graminicola* in soil using conventional PCR, loop-mediated isothermal amplification, lateral flow dipstick and qPCR methods [J]. Plant Disease, 2021, 105(2):456 - 463.

[12] 黄耀师, 梁震, 李丽. 我国植物线虫研究和防治进展[J]. 农药, 2000,39(2): 11 - 13.

[13] POUDYAL D S, POKHAREL R R, SHRESTHA S M, et al. Effect of inoculum density of rice root knot nematode on growth of rice cv. Masuli and nematode development [J]. Australasian Plant Pathology, 2005, 34(2):181 - 185.

[14] 王燕平, 杨芳, 张重梅, 等. 干尖线虫感染水稻生产种现状及其源头分析[J]. 西南农业学报, 2017, 30(8): 1772 - 1776.

[15] 刘刚. 氟吡菌酰胺与吡虫啉混合包衣种子处理对水稻拟禾本科根结线虫防效显著[J]. 农药市场信息, 2019(2): 47.

[16] 芮凯, 王会芳, 符美英,等. 6 种杀线剂对水稻根结线虫的防效评价[J]. 农药, 2015,54(8): 613 - 615.

[17] 唐蓓, 王东伟, 王剑,等. 不同种植方式对水稻根结线虫病发生危害的影响[J]. 植物保护, 2020,47(1): 188 - 191.

(责任编辑: 田　喆)

致谢

2021 年度为《植物保护》审稿的专家名单

2021 年以下专家参与了《植物保护》的审稿工作,为提高我刊质量做出重要贡献,特此向他们表示衷心感谢!

丁克坚	门兴元	马永清	马忠华	马冠华	王小艺	王广君	王少丽	王中康	王文桥
王亚南	王忠跃	王鸣华	王金信	王孟卿	王树桐	王保通	王　勇	王振营	王晓丹
王晓鸣	王恩东	王海光	王海鸿	王　琦	王锡锋	王殿轩	毛连纲	毛润乾	尹　姣
邓晓玲	石延霞	石旺鹏	卢向阳	卢晓红	冯俊涛	冯　晶	邢福国	朱小琼	朱咏华
朱振东	乔红波	仵均祥	任万军	刘二明	刘乃勇	刘小侠	刘丰茂	刘太国	刘文德
刘红彦	刘　杨	刘奇志	刘　艳	刘晓辉	刘　倩	刘爱新	刘鹏飞	刘新刚	江幸福
汤亚飞	许永玉	许景升	农向群	孙素丽	孙漫红	纪兆林	纪明山	芮昌辉	杜树山
李　奎	李云河	李方方	李兴红	李红叶	李红梅	李志红	李志强	李克斌	李国平
李建洪	李保华	李健强	李培琴	李　梅	李　锐	李　燕	杨秀玲	杨念婉	束长龙
肖悦岩	肖　强	吴青君	吴波明	吴学宏	吴秋琳	何自福	何康来	余继忠	沈瑞清
张力群	张天涛	张云慧	张礼生	张永军	张　帆	张志想	张宏宇	张　杰	张　昊
张国珍	张桂芬	张润志	张新春	张慧丽	张　蕾	陆永跃	陆宴辉	陈夕军	陈巨莲
陈华民	陈孝玉龙	陈　林	陈国奇	陈科伟	陈家骅	陈　清	陈福良	苗建强	范在丰
范国强	范洁茹	林善海	林壁润	郅军锐	易克贤	易图永	罗　晨	罗朝喜	周国英
周金成	周益林	周　涛	郑小波	郑经武	宗世祥	封洪强	赵文生	赵廷昌	赵胜园
胡小平	胡白石	胡同乐	侯茂林	侯毅平	姜立云	袁会珠	桂富荣	倪士峰	倪汉文
徐大高	徐　进	徐学农	高　利	高微微	高德学	郭建英	郭荣君	唐启义	唐科志
涂雄兵	黄　云	黄文坤	黄世文	黄兆峰	黄红娟	黄应昆	黄贵修	黄啟良	萧玉涛
曹克强	曹雅忠	龚双军	崔金杰	崔海兰	康厚祥	梁　沛	梁革梅	彭　焕	彭德良
董丰收	董立尧	董莎萌	韩永超	韩燕峰	谢　华	谢家建	雷仲仁	虞国跃	靖湘峰
慕　卫	蔺瑞明	臧连生	廖金铃	颜冬冬	燕　飞	戴仁怀	魏守辉	魏美才	

《植物保护》编辑部

2022 年 1 月