

引用格式:

马肖, 刘木兰, 王峰, 张秋平. 缓释肥与硅肥配施对油菜产量及菌核病抗性的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(2): 144–150.

MA X, LIU M L, WANG F, ZHANG Q P. Effects of the combined application of slow release fertilizer and silicon fertilizer on the rape yield and resistance to *Sclerotinia sclerotium*[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2022, 48(2): 144–150.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



## 缓释肥与硅肥配施对油菜产量及菌核病抗性的影响

马肖, 刘木兰, 王峰\*, 张秋平\*

(湖南农业大学农学院, 湖南 长沙 410128)

**摘要:**为解决油菜生产中存在的肥料用量过大、菌核病难以防治的问题,以常规早熟油菜湘油420为材料,设置不施肥(CK)、缓释肥减量15%(SCF-15%)、缓释肥减量30%(SCF-30%)、缓释肥减量50%(SCF-50%)、缓释肥全量施用(SCF)与农民常规施肥(NCF)6个施肥处理,并在相应施肥基础上设置配施硅肥的6个处理,比较分析各处理油菜的农艺性状、产量性状及菌核病抗性,探究缓释肥与硅肥配施对油菜产量及菌核病抗性的影响。结果表明:与农民常规施肥及缓释肥全量施用相比,缓释肥减量15%、30%处理下的油菜苗期叶片数及收获期株高、一次有效分枝数与根颈直径仍能达到较高水平,且施用硅肥对油菜苗期的生长及收获期的主要农艺性状没有显著影响;所有施缓释肥处理间的单株角果数、每角果粒数、千粒质量、收获密度、产量均差异不显著;同等施肥量情况下,配施硅肥处理油菜的千粒质量、产量均有不同程度的增加,缓释肥减量15%配施硅肥处理产量最高;施用硅肥能显著降低菌核病自然发病率47.21%,增强油菜菌核病抗性。综合分析,在机械直播种植模式下,作为基肥一次性施入765 kg/hm<sup>2</sup>(N、P、K的质量比为191.25:53.55:61.20)缓释肥并配施600 mL/hm<sup>2</sup>有机液体纳米硅肥能够显著增强油菜菌核病抗性,维持较高的油菜产量,实现油菜减肥减药、稳产增产的目标。

**关键词:**油菜;缓释肥;硅肥;产量;菌核病抗性

中图分类号: S565.4

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2022)02-0144-07

## Effects of the combined application of slow release fertilizer and silicon fertilizer on the rape yield and resistance to *Sclerotinia sclerotium*

MA Xiao, LIU Mulan, WANG Feng\*, ZHANG Qiuping\*

(College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

**Abstract:** In order to address the problems of excessive fertilizer consumption and difficulty on the control of *Sclerotinia sclerotium* in rape production, the cultivation techniques of reducing the application amount of chemical fertilizer and pesticides were investigated to provide insight to rape planting. Xiangyou 420 was used as material, and 6 fertilization treatments including no fertilization(CK), 15% reduction of slow-release fertilizer(SCF-15%), 30% reduction of slow-release fertilizer(SCF-30%), 50% reduction of slow-release fertilizer(SCF-50%), total application of slow-release fertilizer(SCF) and farmer's conventional fertilization treatment(NCF) and the six treatments combined with silicon fertilizer were set up on the basis of the corresponding treatments. The agronomic traits, yield traits and resistance to *Sclerotinia sclerotium* of rape were compared and analyzed and the effects of slow-release fertilizer and silicon fertilizer on rape yield and *Sclerotinia sclerotium* resistance were explored. The results showed that, compared with conventional fertilization and full application of slow release fertilizer, rape seedling leaf number, harvest plant height,

收稿日期: 2021-04-15

修回日期: 2022-02-28

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0200906); 湖南省自然科学基金面上项目(2021JJ30352)

作者简介: 马肖(1997—), 男, 湖南邵阳人, 硕士研究生, 主要从事油菜栽培生理研究, maxiao1016@stu.hunau.edu.cn; \*通信作者, 王峰, 博士, 副教授, 主要从事作物育种与栽培研究, 13130035@qq.com; \*通信作者, 张秋平, 博士, 讲师, 主要从事油菜栽培与抗性生理研究, 17707481@qq.com

primary effective branch number and root neck diameter could reach a higher level under 15% and 30% reduction of slow release fertilizer, and the application of silicon fertilizer had no significant effect on the growth of rape at seedling stage and the main agronomic characters at harvest stage. There were no significant differences in the number of pods per plant, seeds per pod, 1000-grain mass, harvest density and yield among all slow-release fertilizer treatments. The 1000-grain weight and yield of rape treated with silicon increased in different degrees compared with the same amount of fertilizer treatments without silicon, and the yield was the highest in the treatment of slow-release fertilizer reduction of 15% combined with silicon fertilizer. The application of silicon fertilizer significantly reduced the natural incidence of *Sclerotinia sclerotiorum* by 47.21%, enhanced the resistance of rape to *Sclerotinia sclerotiorum*. Comprehensive analysis showed that under the mode of mechanical direct seeding of winter rape, one-time basal application of 765 kg/hm<sup>2</sup>(N-P-K: 191.25-53.55-61.20 kg/hm<sup>2</sup>) slow-release fertilizer combined with 600 mL/hm<sup>2</sup> foliar silicon fertilizer could significantly enhance rape resistance to *Sclerotinia sclerotiorum*, maintain higher rape yield, and achieve the goal of reducing weight and increasing yield.

**Keywords:** rape; slow-release fertilizer; silicon fertilizer; yield; *Sclerotinia sclerotiorum* resistance

随着人们生活水平的快速提高, 油脂需求迅速增长, 食用植物油的人均消费量从 1996 年的每年不足 8.0 kg 上升至 2016 年的 24.8 kg<sup>[1]</sup>。统计数据显示, 2018 年我国食用植物油产量为 5.066×10<sup>7</sup> t<sup>[2]</sup>。油菜作为国产植物油第一大油源, 能够提供优质食用油约 6.0×10<sup>6</sup> t, 占食用植物油产量的 11.8%<sup>[3]</sup>。目前, 我国油菜单产较低, 2018 年全国油菜籽单产为 2027.5 kg/hm<sup>2</sup><sup>[2]</sup>, 在湖南、江西等主产区仅 1500.0 kg/hm<sup>2</sup> 左右, 且种植成本连年持续攀升, 导致油菜种植效益低, 农民积极性不高<sup>[4]</sup>, 而施肥水平又是影响油菜产量的关键性因素<sup>[5-6]</sup>; 因此, 通过改进栽培措施来降低油菜种植成本、提高种植效益具有重要意义。研究<sup>[7-13]</sup>表明, 施用适量缓释肥可明显改善水稻、玉米、油菜等作物的植株生长、发育和产量形成能力, 提高产量。施用木质素水稻缓释肥能显著提高水稻株高、穗长、产量等<sup>[7]</sup>; 施用缓释肥(含 15% 缓释尿素)的水稻较常规施肥增产 8.38%, 提高氮肥利用率 2.55%<sup>[8]</sup>; 在缓释肥分层底施的模式下, 夏玉米产量比普通化肥底施模式增加 13.90%<sup>[9]</sup>; 在氮肥减量 20% 条件下, 配施缓释肥可以提高春玉米生产的纯利润<sup>[10]</sup>; 施用控释肥可使直播油菜增产增效<sup>[11]</sup>, 油菜施用专用缓释肥比常规施肥增产 1.80%~18.10%<sup>[12]</sup>, 纯收入提高 20.41%<sup>[13]</sup>。

硅元素为植物的有益元素, 主要参与植物的生长过程, 可改善植物的矿质营养状况, 提高植物的抗逆能力<sup>[14]</sup>。施用 90 kg/hm<sup>2</sup> 海藻液硅的水稻比对照增产 7.05%<sup>[15]</sup>; 喷施海藻液硅可降低稻谷和稻米的重金属镉含量<sup>[16]</sup>; 施用硅肥(硅酸盐)可显著缓解或消除大麦生产中的铝毒害作用<sup>[17]</sup>; 施用硅肥可降低油菜菌核病发病率 11.40%, 产量增加 8.40%<sup>[18]</sup>;

单独施用叶面硅肥可提高油菜产量, 降低群体病害指数<sup>[19]</sup>。上述研究大多是基于油菜单施缓释肥或硅肥, 少有对油菜进行缓释肥与硅肥配施的研究。本研究中, 以机械直播冬油菜为对象, 采用缓释肥与硅肥配施的施肥方式, 探究缓释肥与硅肥配施对油菜产量及菌核病抗性的影响, 以为油菜减肥减药栽培提供理论依据。

## 1 试验地基本概况

试验于 2018—2019 年在湖南省衡阳市西渡镇台九村(112°24'10"E, 27°0'58"N)进行。种植模式为稻-油轮作。试验地土壤 pH 6.2, 有机质、全氮、全磷含量分别为 20.0、0.6、0.5 g/kg, 速效钾、有效磷含量分别为 93.1、12.9 mg/kg。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料

供试油菜为常规早熟油菜品种湘油 420, 采用机械直播, 播种量为 6 kg/hm<sup>2</sup>。试验所用肥料为普通复合肥、普通尿素(含 N 46%)、油菜专用缓释复合肥、有机液体纳米硅肥、硼砂(含硼 11%)。普通复合肥总养分≥45%, N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 的质量比为 15:15:15; 油菜专用缓释复合肥(含硼)总养分≥40%, N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 的质量比为 25:7:8; 有机液体纳米硅肥的 Si 含量≥60 g/L, pH 值 6~8, Na 含量≤5 g/L, 水不溶物含量≤10 g/L。

### 2.2 试验设计

试验共设置 12 个处理, 分别为不施肥(CK)、缓释肥减量 15%(SCF-15%)、缓释肥减量 30%(SCF-30%)、缓释肥减量 50%(SCF-50%)、缓释肥

全量施用(SCF)、农民常规施肥(NCF)以及基于上述6个施肥处理配施叶面硅肥的6个处理(CK+Si, SCF-15%+Si, SCF-30%+Si, SCF-50%+Si, SCF+Si, NCF+Si)。缓释肥全量施用处理施肥量为900 kg/hm<sup>2</sup>, 缓释肥减量15%、30%和50%处理的施肥量分别为765、630和450 kg/hm<sup>2</sup>, 农民常规施肥处理为普通复合肥600 kg/hm<sup>2</sup>、尿素270 kg/hm<sup>2</sup>、硼砂11.25 kg/hm<sup>2</sup>。缓释肥、复合肥、硼砂作基肥一次性施用; 尿素分3次施用(即60%作基肥、20%作苗肥、20%作基肥追施); 硅肥于油菜幼苗期、蕾薹期、初花期用原液600 mL/hm<sup>2</sup>兑水稀释500倍后喷施。具体各养分施用量见表1。播种后封闭除草施药1次, 其余时期不施药。各处理设3次重复。小区面积40 m<sup>2</sup>, 随机区组排列。

表1 各处理的养分施用量

处理	N	P	K	Si
CK	0.00	0.00	0.00	0.00
SCF-50%	112.50	31.50	36.00	0.00
SCF-30%	157.50	44.10	50.40	0.00
SCF-15%	191.25	53.55	61.20	0.00
SCF	225.00	63.00	72.00	0.00
NCF	214.20	90.00	90.00	0.00
CK+Si	0.00	0.00	0.00	36.00
SCF-50%+Si	112.50	31.50	36.00	36.00
SCF-30%+Si	157.50	44.10	50.40	36.00
SCF-15%+Si	191.25	53.55	61.20	36.00
SCF+Si	225.00	63.00	72.00	36.00
NCF+Si	214.20	90.00	90.00	36.00

### 2.3 样品采集与测定

在油菜苗期(12月中旬)对叶片数进行调查。在油菜角果期对SCF-30%、SCF、SCF-30%+Si、SCF+Si 4个处理各选择15株代表性植株进行人工菌核病菌丝接种(5株为1次重复), 统一接种在根茎节上90 cm主茎处, 分别取接种前、接种后3 d、接种后6 d接种部位上方分枝的叶片测定过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)的活性及叶绿素含量。POD、SOD、CAT及叶绿素采用苏州科铭生物技术有限公司的微量试剂盒提取, 使用Tecan SPARK多功能酶标仪测定<sup>[20-23]</sup>。

在角果期、收获期每小区选取具有代表性的1 m<sup>2</sup>样方, 调查油菜茎、叶菌核病田间自然发病数量与等级, 发病程度分级参照《油菜菌核病测报技术规范》(NYT 2038—2011)执行。自然发病率为发病植株数

量与调查植株数量的比值。

$$I = \frac{\sum(d_i \times l_i)}{L \times 3} \times 100 \quad (1)$$

式中:  $I$ 为病情指数;  $d_i$ 为各严重度级值;  $l_i$ 为各严重度级值对应株数;  $L$ 为调查总株数。

收获时每小区取10株代表性植株进行考种, 调查产量构成因素及农艺性状, 包括收获密度、单株角果数、每角果粒数、千粒质量、株高、一次有效分枝数、角果长度、根颈直径; 每小区取10 m<sup>2</sup>样方单打单收, 晒干扬净后称重。

### 2.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2016进行数据整理; 采用DPS 7.05进行统计分析; 运用LSD法进行差异显著性检验; 运用Origin 2019绘图。

## 3 结果与分析

### 3.1 油菜苗期叶片数与收获期生长情况

由表2可知, 肥料的施用显著促进了油菜的生长, 所有施肥处理苗期叶片数及收获期株高、一次有效分枝数与根颈直径均显著高于不施肥处理, 苗期叶片数与收获期株高随着肥料用量的增加呈上升趋势; 在不施硅肥的情况下, SCF处理的苗期叶片数显著高于NCF以及缓释肥减量施用处理, NCF处理的收获期株高及一次有效分枝数高于缓释肥全量及减量施用处理; 而在施用硅肥的情况下,

表2 缓释肥与硅肥配施处理的油菜主要农艺性状

处理	苗期叶片数	株高/cm	一次有效分枝数	根颈直径/cm
CK	4.13d	88.07c	0.93d	0.44c
SCF-50%	6.27bc	137.12b	3.00c	0.86ab
SCF-30%	6.27bc	141.62ab	3.53bc	1.03a
SCF-15%	6.60b	145.89ab	3.80abc	1.02a
SCF	7.40a	146.53ab	3.33c	0.91a
NCF	6.67b	150.74ab	4.27ab	1.01a
CK+Si	4.20d	80.86c	0.80d	0.50bc
SCF-50%+Si	6.00c	134.70b	3.17c	1.11a
SCF-30%+Si	6.20bc	139.88ab	3.80abc	1.14a
SCF-15%+Si	6.30bc	148.20ab	3.80abc	1.04a
SCF+Si	6.43bc	147.66ab	3.77abc	0.97a
NCF+Si	6.67b	156.02a	4.57a	1.01a

同列数据不同小写字母表示处理间的差异显著( $P < 0.05$ )。

SCF-15%+Si、SCF-30%+Si、SCF-50%+Si 处理的苗期叶片数及收获期株高、一次有效分枝数与根颈直径与 SCF+Si 处理的差异不显著, 但 NCF+Si 处理的苗期叶片数及收获期株高、一次有效分枝数显著高于 SCF-50%+Si 处理的; 除 SCF 处理的苗期叶片数外, 其余同等施肥水平下不施硅肥与施用硅肥的苗期叶片数及收获期株高、一次有效分枝数与根颈直径均差异不显著。由此表明, 缓释肥减量施用 15%、30% 情况下, 油菜苗期生长及收获期的主要农艺性状并未受到显著影响, 苗期叶片数及收获期株高、一次有效分枝数与根颈直径仍能达到较高水平, 同时硅肥施用对油菜苗期生长及收获期的主要农艺性状没有显著影响。

### 3.2 油菜产量及其构成因子

如表 3 所示, 施用硅肥或不施用硅肥的情况下, 所有施肥处理的单株角果数和产量均显著高于 CK 或 CK+Si; 千粒质量除 SCF-15% 处理外, 其他施肥处理均显著高于不施肥处理。在不施硅肥的情况下, NCF 处理的单株角果数与每角果粒数均最大, 分别为 127.87 和 15.81; SCF 处理的千粒质量最大,

为 3.87 g, SCF-50% 处理的收获密度最大, 为 73.00 万株/hm<sup>2</sup>; NCF 处理的产量最高, 为 1737.35 kg/hm<sup>2</sup>; 所有施缓释肥处理间的单株角果数、每角果粒数、千粒质量、收获密度、产量均差异不显著。在施用硅肥的情况下, NCF 处理的单株角果数最大, 为 138.43; SCF-15% 处理的每角果粒数最大, 为 15.51; SCF 处理的千粒质量最大, 为 3.95 g; SCF-30% 处理的收获密度最大, 为 76.00 万株/hm<sup>2</sup>; SCF-15% 处理的产量最高, 为 2091.91 kg/hm<sup>2</sup>; 所有施用缓释肥处理间的每角果粒数、千粒质量、收获密度、产量均差异不显著。不施硅肥与施用硅肥相比, 同等施肥量情况下配施硅肥油菜的千粒质量、产量均有不同程度的增加; SCF-15% 的产量比 SCF 的产量高 188.05 kg/hm<sup>2</sup>, SCF-15%+Si 的产量比 SCF-15% 的高 409.56 kg/hm<sup>2</sup>, SCF-15%+Si 的产量高于 NCF 处理 354.56 kg/hm<sup>2</sup>。由此表明, 采用缓释肥减量 15% 基施辅以有机硅肥喷施能够维持或增加油菜产量, 是化肥减量施用栽培模式下提高生产潜力的有效途径。

表 3 不同缓释肥与硅肥配施处理的油菜产量构成因子及产量

处理	单株角果数	每角果粒数	千粒质量/g	收获密度/(万株·hm <sup>-2</sup> )	产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )
CK	35.07d	12.11ab	3.52b	44.33b	672.08d
SCF-50%	86.53c	14.27ab	3.82a	73.00a	1355.75bc
SCF-30%	101.13abc	13.85ab	3.81a	53.33ab	1304.22bc
SCF-15%	112.07abc	14.75a	3.75ab	65.00ab	1682.35ab
SCF	105.07abc	13.68ab	3.87a	62.33ab	1494.30ab
NCF	127.87ab	15.81a	3.85a	56.33ab	1737.35ab
CK+Si	29.50d	10.94b	3.55b	49.00ab	746.66cd
SCF-50%+Si	90.43bc	13.83ab	3.87a	62.00ab	1545.70ab
SCF-30%+Si	101.57abc	13.77ab	3.84a	76.00a	1622.56ab
SCF-15%+Si	111.47abc	15.51a	3.87a	59.67ab	2091.91a
SCF+Si	98.82bc	13.18ab	3.95a	67.33ab	1757.57ab
NCF+Si	138.43a	13.55ab	3.94a	50.67ab	1780.01ab

同列数据不同小写字母表示处理间的差异显著( $P < 0.05$ )。

### 3.3 油菜菌核病的发病情况

由表 4 可知, 在油菜角果期, 施加硅肥处理的油菜叶片和主茎的菌核病自然发病率低于同量缓释肥不施硅肥处理的, 常规施肥处理叶片发病率也为施用硅肥处理显著低于不施硅肥处理的, 但主茎发病率的差异不显著; 叶片及主茎的菌核病自然发病率差值分别为 2.00% ~ 7.67%、0% ~ 12.34%, SCF-15%+Si 的叶片及主茎的菌核病自然发病率显著低于 SCF-15% 的。油菜收获期, 不施硅肥的各处

理主茎的菌核病自然发病率比角果期增加了 1.00% ~ 6.33%, 施用硅肥的各处理主茎的菌核病自然发病率比角果期增加了 1.33% ~ 5.67%; 同等施肥量处理间油菜主茎的菌核病自然发病率均为施用硅肥处理的低于不施硅肥处理的, 主茎的菌核病自然发病率差值为 0% ~ 13.00%, 且 SCF-15% 与 SCF 配施硅肥的主茎菌核病自然发病率均显著低于不施硅肥处理; 同等施肥量情况下, 施用硅肥各处理角果期、收获期的菌核病病情指数均低于不施硅肥处理, SCF-15%+Si 与 SCF+Si 处理角果期、收获

期的菌核病病情指数均显著低于不施硅肥处理的,且施用硅肥下所有处理的平均菌核病自然发病率比不施硅肥的低 47.21%。不施肥的油菜因其成苗密

度极小、植株小,通风透光条件良好,菌核病感染程度较轻,而施用硅肥能够降低油菜菌核病自然发病率,为油菜安全生产、稳定产量提供保障。

表 4 油菜的菌核病自然发病率与病情指数

Table 4 Natural incidence and disease index of rapeseed sclerotinia

处理	角果期叶片 发病率/%	主茎发病率/%		病情指数	
		角果期	收获期	角果期	收获期
CK	6.67bc	0.00d	0.00d	0.00b	0.00c
SCF-50%	12.33ab	11.00abc	12.00bc	5.56ab	10.00b
SCF-30%	8.67bc	7.67abcd	13.33bc	4.44ab	9.63b
SCF-15%	15.67a	15.67a	22.00a	9.63a	20.00a
SCF	8.67bc	13.33ab	17.67ab	8.15a	16.67a
NCF	11.33ab	7.67abcd	11.00bc	4.82ab	10.00b
CK+Si	2.00c	0.00d	0.00d	0.00b	0.00c
SCF-50%+Si	5.67bc	7.67abcd	10.00c	5.19ab	9.63b
SCF-30%+Si	6.67bc	6.33bcd	10.00c	4.44ab	9.26b
SCF-15%+Si	8.00bc	3.33cd	9.00c	2.22b	7.78b
SCF+Si	3.33c	3.33cd	8.00c	2.22b	7.04b
NCF+Si	4.33c	7.67abcd	9.00c	4.82ab	6.66b

同列数据不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

### 3.4 油菜接种核盘菌后的生理变化

在角果期分别对 SCF-30%、SCF-30%+Si、SCF、SCF+Si 的油菜主茎进行核盘菌人工接种,测

定接种前、接种后第 3 天、接种后第 6 天的 CAT、POD、SOD 活性及总叶绿素含量。结果(图 1)显示,接种前到接种后第 6 天,施用硅肥处理的油菜叶

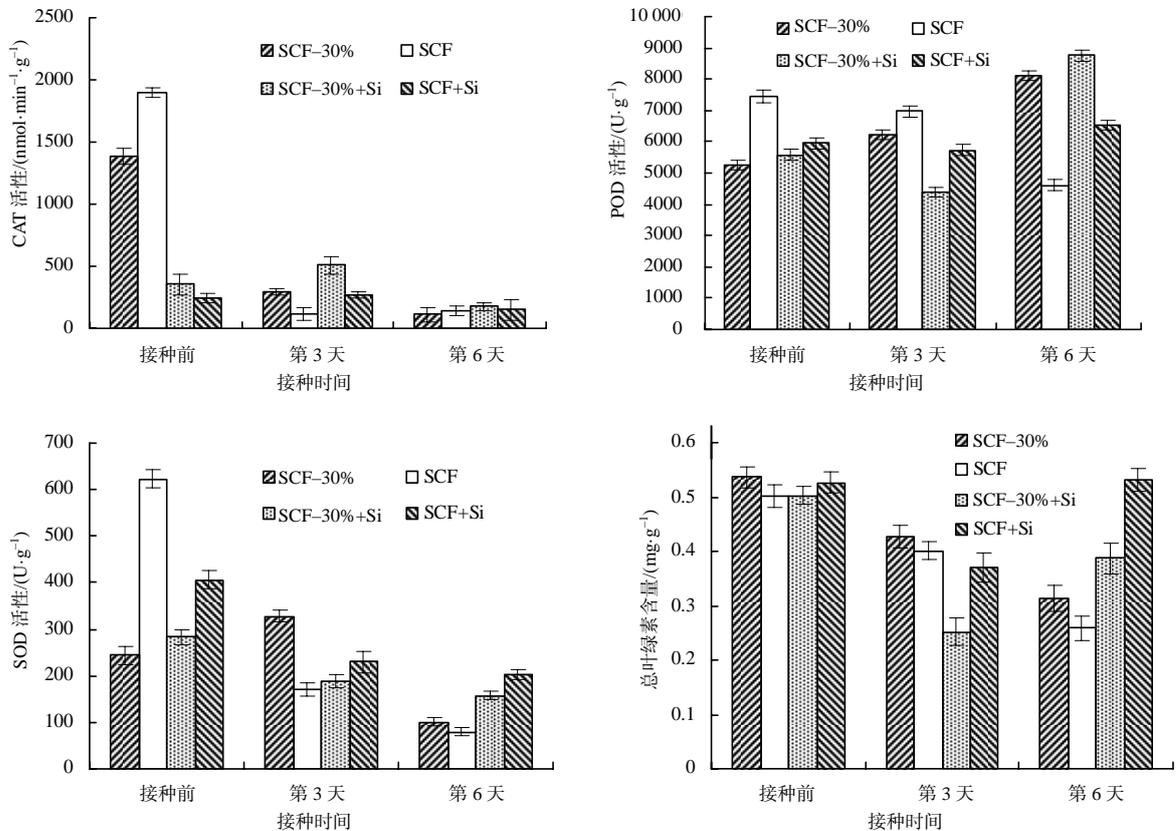


图 1 接种核盘菌后油菜叶片叶绿素含量和抗氧化酶活性

Fig. 1 The chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in rape leaves after inoculation with *Sclerotinia sclerotiorum*

片 CAT 活性呈先升高后降低的趋势,而不施硅肥的处理呈一直下降趋势,且最终降幅远大于施用硅肥处理的;施用硅肥处理的油菜叶片 POD 活性呈先降低后升高的趋势,而 SCF-30%处理的 POD 活性一直增加,SCF 处理的 POD 活性一直下降,接种后第 6 天,缓释肥减量 30%和缓释肥全量施用条件下,油菜叶片 POD 活性均为施硅处理的高于不施硅处理的;施用硅肥的处理油菜叶片 SOD 活性呈下降的趋势,而 SCF-30%处理的 SOD 活性先增加后降低,SCF 处理的 SOD 活性一直下降,接种后第 6 天,缓释肥减量 30%和缓释肥全量施用条件下油菜叶片 SOD 活性也为施硅处理的高于不施硅处理的;施用硅肥处理的油菜叶片总叶绿素含量呈先降低后升高的趋势,不施硅肥处理的总叶绿素含量呈下降趋势。由此表明,施用硅肥能够通过减小抗氧化酶活性的降低幅度或提高抗氧化酶活性来抵御核盘菌侵染,降低病菌侵染油菜植株对叶片造成的损伤,保障叶片光合作用的正常进行,从而提高菌核病抗性。

#### 4 结论与讨论

随着农业生产成本的增加,农业生产效益低下的问题日益突出,已成为制约农民生产积极性的关键因素。为了提高油菜种植效益,陈社员等<sup>[24]</sup>从直播油菜的播期、品种、播种量和播种方式等方面对油菜轻简化栽培进行了研究,发现水稻板田撒播油菜虽然产量低于移栽油菜,但经济效益比移栽油菜提高 3~4 倍;吴玉林等<sup>[25]</sup>通过对直播油菜不同施肥方式的研究,发现施用缓释肥能防止叶片早衰和延长功能期,且施用缓释肥 750~900 kg/hm<sup>2</sup>的施肥效益最大;张智等<sup>[26]</sup>研究发现,在油菜推荐氮肥用量(180 kg/hm<sup>2</sup>)的基础上采用控释尿素减量 30%时能够维持较高水平的油菜籽产量和氮肥效率;胡时友等<sup>[18]</sup>在油菜施氮、磷、钾肥的基础上配施硼肥、硅肥,相比单施氮、磷、钾肥,油菜籽增产 8.9%;李祯等<sup>[19]</sup>对油菜施用固体有机硅肥、液态叶面硅肥的研究发现,单独施用叶面硅肥能提高 20%的油菜籽产量,增加油菜的每株角果数、千粒质量、分枝数、理论产油率等。本研究中,通过对油菜基施缓释肥配施硅肥的研究,发现缓释肥全量(900 kg/hm<sup>2</sup>)施用基础上减量 15%、30%,油菜苗期生长情况及

收获期的主要农艺性状均未受到显著影响,苗期叶片数及收获期株高、一次有效分枝数与根颈直径仍能达到较高水平,且施用硅肥对油菜苗期的生长及收获期的主要农艺性状没有显著影响;与不施硅肥相比,同等施肥量情况下配施硅肥油菜的千粒质量、产量均有不同程度的增加,这与胡时友等<sup>[18]</sup>、李祯等<sup>[19]</sup>的研究结果一致。本研究中,缓释肥减量 15%处理的油菜单株角果数及产量均高于缓释肥全量施用,在配施硅肥后其产量比农民常规施肥高 354.56 kg/hm<sup>2</sup>,这可能是因为施用缓释肥能够降低作物氮、磷养分损失,促进养分吸收利用,增加养分积累量<sup>[27]</sup>,施用硅肥能够增大叶细胞中的叶绿体,增加基粒数和叶片中的 ATP 含量<sup>[28]</sup>,从而为油菜产量形成提供充足的物质基础。

胡时友等<sup>[18]</sup>研究表明,在油菜施氮、磷、钾肥的基础上配施硼肥、硅肥,相比单施氮、磷、钾肥处理的油菜菌核病发病率下降 14.9%;李祯等<sup>[19]</sup>研究发现,单独施用叶面硅肥与不施硅肥相比油菜群体病害指数降低 15.2%。本研究中,通过油菜角果期至收获期的菌核病自然发病率变化以及人为接种菌核病菌后油菜叶片中抗氧化酶物质活性与叶绿素含量的变化发现,施用硅肥的油菜群体间的菌核病传播感染程度明显降低,抗氧化酶物质活性的降低幅度减小,抗氧化酶物质活性提高,有利于油菜抵御核盘菌病菌的侵染,从而缓解因病菌侵染带来叶片衰老或死亡的问题,保障叶片光合作用的正常进行,防止油菜植株早衰,提高油菜菌核病抗性,为油菜产量安全提供保障。

#### 参考文献:

- [1] 王佳友,何秀荣,王茵. 中国油脂油料进口替代关系的计量经济研究[J]. 统计与信息论坛, 2017, 32(5): 69-75.
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.
- [3] 刘成,冯中朝,肖唐华,等. 我国油菜产业发展现状、潜力及对策[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(4): 485-489.
- [4] 钟甫宁. 正确认识粮食安全和农业劳动力成本问题[J]. 农业经济问题, 2016, 37(1): 4-9.
- [5] 杨勇,刘强,宋海星,等. 不同种植密度和施肥水平对油菜养分吸收和产量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2011, 37(6): 586-591.
- [6] 官春云,谭太龙,王国槐,等. 湖南高产油菜的产量构

- 成特点及主要栽培措施[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2011, 37(4): 351-355.
- [7] 施波, 周华萍, 应金耀. 水稻缓释肥对水稻嘉 58 生长和产量的影响[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(12): 2143-2145.
- [8] 刘文, 谭美, 江涛, 等. 不同缓释氮肥对水稻产量及氮肥利用率的影响[J]. 湖南农业科学, 2019(11): 52-54.
- [9] 宫宇, 段巍巍, 王贵彦, 等. 缓释肥分层底施对夏玉米生长、干物质积累和产量的影响[J]. 河南农业科学, 2019, 48(10): 41-46.
- [10] 胡迎春, 韩云良, 施成晓, 等. 氮肥减量下缓释肥和尿素配施对黄土高原春玉米氮素利用和产量效益的影响[J]. 西北农业学报, 2019, 28(7): 1068-1078.
- [11] 段秋宇, 刘士山, 吴永成. 普通尿素与控释尿素单施及其配施对直播油菜产量和氮肥利用率的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2017, 43(4): 433-437.
- [12] 范连益, 黄晓勤, 惠荣奎, 等. 缓释型油菜专用配方肥在直播油菜生产上的应用研究[J]. 湖南农业科学, 2014(15): 8-11.
- [13] 余自强, 沈国钦, 沈华喜. 施用专用缓释肥“宜施壮”对油菜产量及效益的影响[J]. 农技服务, 2018, 35(3): 54.
- [14] 夏石头, 萧浪涛, 彭克勤. 高等植物中硅元素的生理效应及其在农业生产中的应用[J]. 植物生理学报(原植物生理学通讯), 2001, 37(4): 356-360.
- [15] 王圣毅, 陈林, 李丽, 等. 硅肥对膜下滴灌水稻生长发育及产量的影响[J]. 中国稻米, 2016, 22(5): 85-88.
- [16] 余跑兰, 肖小军, 陈燕, 等. 硅肥对早稻群体生产力和镉吸收的影响[J]. 中国稻米, 2015, 21(4): 135-137.
- [17] 黄昌勇, 沈冰. 硅对大麦铝毒的消除和缓解作用研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1): 98-101.
- [18] 胡时友, 杨利, 彭成林, 等. 施用硼、硅肥并减施氮、磷、钾肥对油菜生长和产量的影响[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(19): 3624-3625.
- [19] 李祯, 李倩仪, 赵航, 等. 硅肥对油菜生长发育及产量品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(7): 66-69.
- [20] WANG L, WANG Y F, WANG X Y, et al. Regulation of POD activity by pelargonidin during vegetative growth in radish(*Raphanus sativus* L.)[J]. Scientia Horticulturae, 2014, 174: 105-111.
- [21] GARCÍA-TRIANA A, ZENTENO-SAVÍN T, PEREGRINO-URIARTE A B, et al. Hypoxia, reoxygenation and cytosolic manganese superoxide dismutase(cMnSOD) silencing in *Litopenaeus vannamei*: effects on cMnSOD transcripts, superoxide dismutase activity and superoxide anion production capacity[J]. Developmental & Comparative Immunology, 2010, 34(11): 1230-1235.
- [22] SIMA Y H, YAO J M, HOU Y S, et al. Variations of hydrogen peroxide and catalase expression in *Bombyx* eggs during diapause initiation and termination[J]. Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 2011, 77(2): 72-80.
- [23] CHUNG S W, YU D J, LEE H J. Changes in anthocyanidin and anthocyanin pigments in highbush blueberry(*Vaccinium corymbosum* cv. Bluecrop) fruits during ripening[J]. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 2016, 57(5): 424-430.
- [24] 陈社员, 官春云, 王国槐. 稻田三熟制油菜简化栽培技术研究 II. 稻板田撒播油菜的播期、品种、播种量和播种方式[J]. 中国油料作物学报, 1998, 20(2): 37-42.
- [25] 吴玉林, 周桂清, 邹应斌, 等. 稻田油菜免耕直播栽培施肥技术研究[J]. 作物研究, 2004, 18(3): 159-163.
- [26] 张智, 乔艳, 刘东海, 等. 氮肥减施对油菜产量、氮素吸收与利用的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2020(2): 140-145.
- [27] 麻井彪, 高洁, 张建菲. 缓释肥对紫色土油菜生长和养分吸收利用的影响[J]. 土壤学报, 2020, 57(4): 1040-1050.
- [28] 邢雪荣, 张蕾. 植物的硅素营养研究综述[J]. 植物学通报, 1998, 15(2): 33-40.

责任编辑: 毛友纯

英文编辑: 柳正