

主要环境及营养因素对西瓜枯萎病菌生长的影响

郭晓钰^{1,2}, 纪莉景², 王亚娇², 王翠霞², 孔令晓^{2*}

(1. 河北农业大学植保学院, 保定 071000; 2. 河北省农林科学院植物保护研究所, 河北省有害生物综合防治工程技术研究中心, 农业部华北北部作物有害生物综合治理重点实验室, 保定 071000)

摘要 采用菌丝生长速率法和产孢量测定研究了不同温度、光照、pH及碳氮源对来源于海南、河北和上海的3株西瓜枯萎病菌 Fo-HN-46、Fo-HB-12和 Fo-SH-1 生长速率和产孢量的影响。结果表明:西瓜枯萎病菌菌株的适宜生长温度为20~30℃, Fo-HN-46最适生长温度为28℃, Fo-HB-12和 Fo-SH-1最适生长温度为25℃, 产孢的最适温度为28~30℃;光照对西瓜枯萎病菌生长速率无显著影响, 对产孢影响显著, Fo-HN-46在黑暗条件下单位面积产孢量最高, Fo-HB-12和 Fo-SH-1在半光照条件下产孢量最高; pH对西瓜枯萎病菌菌株的生长速率和产孢量有显著影响, pH 7~9时菌丝生长速率快, pH 8~11时产孢量高;葡萄糖、淀粉和乳糖作为碳源能够显著增加西瓜枯萎病菌的产孢量;蛋白胨作为氮源能显著促进菌丝生长, 硝酸钠、酵母粉和蛋白胨均能显著增加西瓜枯萎病菌的产孢量。用最适碳源、氮源培养, Fo-HN-46生长速率大于 Fo-HB-12和 Fo-SH-1。Fo-SH-1产孢量高于 Fo-HN-46和 Fo-HB-12。

关键词 西瓜枯萎病菌; 菌丝生长速率; 产孢量

中图分类号: S 436.5 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.0529-1542.2016.03.026

Effects of main environmental and nutrient factors on the growth of different *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* strains from watermelon

Guo Xiaoyu^{1,2}, Ji Lijing², Wang Yajiao², Wang Cuixia², Kong Lingxiao²

(1. College of Plant Protection, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China; 2. Institute of Plant Protection, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Integrated Pest Management Center of Hebei Province, Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northern Region of North China, Ministry of Agriculture, Baoding 071000, China)

Abstract This study aims to determine the effects of temperature, light, pH value, carbon and nitrogen sources on the mycelial growth and spore production of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* (FON) from watermelon, which were collected from watermelon production areas of Hainan, Hebei provinces and Shanghai City. The results showed that the suitable temperature for mycelial growth and sporulation were 20–30°C and 28–30°C, respectively. The optimum growth temperature for Fo-HN-46 was 28°C. The optimum growth temperature for Fo-HB-12 and Fo-SH-1 was 25°C. The light had no significant effect on mycelial growth of the pathogen, but had significant effect on sporulation. The spore yields per unit area of Fo-HN-46 were highest under all darkness conditions. The spore yield per unit area of Fo-HB-12 and Fo-SH-1 was highest under alternation of light and darkness conditions. Mycelia growth and spore production of the different FON strains were significantly affected by different pH values. The mycelium growth rates of the different strains at pH 7 to 9 were faster than that at any other pH values. The spore yields of the different strains at pH 8 to 11 were faster than that at any other pH values. Glucose, starch, and lactose as carbon source could significantly increase the spore production of *F. oxysporum*. Peptone as nitrogen sources could promote mycelial growth, while sodium nitrate, yeast extract and peptone could significantly increase the spore yield of the pathogen. There were significant differences in the mycelial growth and spore production among the different *F. oxysporum* strains when the optimum carbon source or nitrogen source were used. The mycelium growth rate of Fo-HN-46 was faster than those of Fo-HB-12 and Fo-SH-1. The

收稿日期: 2015-03-26 修订日期: 2015-04-16

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(200903049)

* 通信作者 E-mail: konglingxiao@sohu.com

spore yield of Fo-SH-1 was higher than those of the Fo-HN-46 and Fo-HB-12.

Key words pathogen of watermelon fusarium wilt; mycelium growth rate; spore yield

西瓜枯萎病是由尖孢镰刀菌西瓜专化型(*Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*)引起的土传病害^[1],是导致西瓜产量和品质降低的最严重障碍之一^[2]。我国每年西瓜枯萎病发生面积约为 25 万 hm²,重茬地发病率一般在 30%以上,严重地块达 80%,甚至绝产^[3]。我国西瓜种植区域的气候、土壤有很大差异,各个省区都有各自栽培的西瓜品种^[4],因此西瓜枯萎病菌的种群多样性较为复杂,致病性存在较大变化。目前各省区关于西瓜枯萎病菌的生物学特性有较多报道,但是地理位置相距较远的西瓜枯萎病菌的生物

学特性比较还鲜有报道。本试验对分离自海南、河北、上海三地区的西瓜枯萎病菌适宜生长和产孢的温度、光照、pH 及碳氮源环境条件进行了研究,探讨与西瓜枯萎病的发生流行有关的因子,旨在为制定更为有效的西瓜枯萎病防治策略提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试菌株

供试菌株来源详见表 1。

表 1 供试菌株及来源

Table 1 Strains and sources

菌株 Strain	致病力 Pathogenicity	采集地 Collection site	寄主 Host	来源 Source
Fo-HN-46	中	海南崖城	西瓜	河北省农林科学院植保所植病实验室
Fo-HB-12	中	河北清苑	西瓜	河北省农林科学院植保所植病实验室
Fo-SH-1	中	上海南汇	西瓜	上海市农科院

1.1.2 供试培养基

在温度、光照、pH 对西瓜枯萎病菌生长的影响试验中,菌丝生长速率测定均采用 PDA 培养基(马铃薯 200 g,葡萄糖 20 g,琼脂 20 g,蒸馏水 1 000 mL),产孢量测定采用 PDB 培养基;碳源、氮源对菌丝生长速率的影响试验,以 Czapek 培养基(硝酸钠 3 g,磷酸氢二钾 1 g,七水硫酸镁 0.5 g,氯化钾 0.5 g,硫酸亚铁 0.01 g,蔗糖 30 g,20 g 琼脂,蒸馏水 1 000 mL)为基础培养基,分别替换不同碳氮源,产孢量测定采用相应的液体培养基。

1.2 试验方法

1.2.1 菌种准备

提前在 PDA 平板上活化西瓜枯萎病菌菌株,在生长 5 d 的菌落边缘,用直径为 6 mm 的灭菌打孔器打出菌盘备用。将菌盘接种于 PDB 培养基,于摇床 170 r/min 培养 3 d,制备种子液待用。

1.2.2 温度对西瓜枯萎病菌生长及产孢的影响

制备厚度一致、pH 为 7 的 PDA 平板,菌丝面向下接种菌盘。设置 5、10、15、20、23、25、28、30℃共 8 个温度处理,4 次重复,半光照(光照强度 2 000 lx,L//D=12 h//12 h)条件下培养 4 d,十字交叉法测量菌落直径,计算生长速率;制备 pH 为 7 的 PDB 培养基,温度处理设置同上,每处理接种终浓度为 2%的种子液,4 次重复,在光照强度 2 000 lx,L//D=12 h//12 h 条件下,

170 r/min 摇床培养 4 d,血球计数板测定孢子数,计算产孢量。

1.2.3 光照对西瓜枯萎病菌生长及产孢的影响

将菌盘接种于厚度一致、pH 为 7 的 PDA 平板上,设置全光照(2 000 lx)、半光照、黑暗 3 种处理,4 次重复,25℃培养 4 d,测定菌落生长速率;每皿中加入适量蒸馏水,刮取分生孢子并充分混匀,血球计数板法测定孢子数,计算单位面积产孢量。

1.2.4 pH 对西瓜枯萎病菌生长及产孢的影响

配制 pH 为 3、4、5、6、7、8、9、10、11、12 共计 10 个处理的 PDA 培养基,接种菌盘,4 次重复,在 25℃、半光照条件下培养 4 d,测定生长速率;配制相应 pH 的 PDB 培养基测定产孢量,方法同 1.2.2。

1.2.5 碳源、氮源对西瓜枯萎病菌生长及产孢的影响

采用 Czapek 培养基,以缺少碳源或氮源的 Czapek 培养基为对照,用等量的葡萄糖、可溶性淀粉、麦芽糖、乳糖分别置换其中的蔗糖,用硫酸铵、尿素、酵母粉、蛋白胨分别置换其中的硝酸钠,调节 pH 为 7,接种菌盘,4 次重复,在 25℃、光照强度 2 000 lx,L//D=12 h//12 h 条件下培养 4 d,测定菌落生长速率;产孢量测定方法同 1.2.2。

1.3 计算公式及数据处理

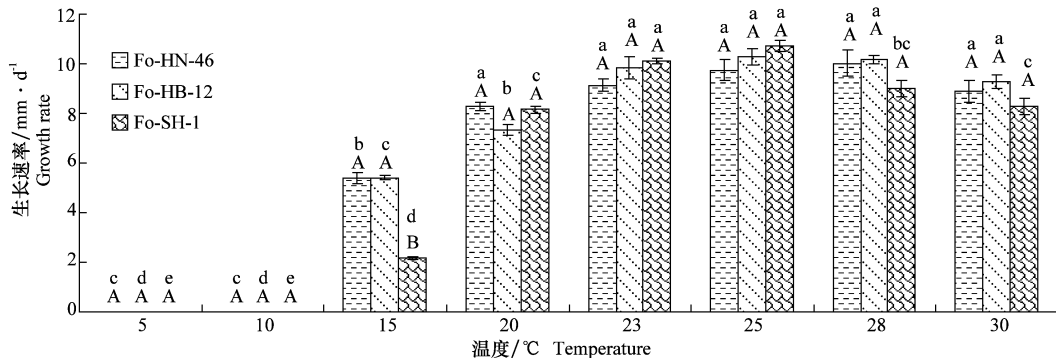
生长速率(mm/d)=(菌落半径-3)/培养天数;
数据采用 SPSS 软件处理,Duncan 新复极差法进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 温度对西瓜枯萎病菌生长及产孢的影响

温度对 3 个枯萎病菌菌株的生长速率均有显著影响(图 1),各菌株在 10℃以下均不生长,15℃时生长速率显著升高,在 20~30℃时适宜生长,生长速率趋于平

稳,为 7.33~10.73 mm/d。3 个枯萎病菌菌株的最适生长温度不同,Fo-HN-46 最适生长温度为 28℃,Fo-HB-12 和 Fo-SH-1 最适生长温度为 25℃。比较相同温度下不同西瓜枯萎病菌菌丝生长速率可知,15℃时 Fo-HN-46 和 Fo-HB-12 的生长速率显著大于 Fo-SH-1,其他温度条件下 3 菌株的生长速率无显著差异。



小写字母表示同一菌株在不同温度条件下生长速率的差异显著性,大写字母表示在相同温度条件下不同菌株间生长速率的差异显著性($P \leq 0.05$)

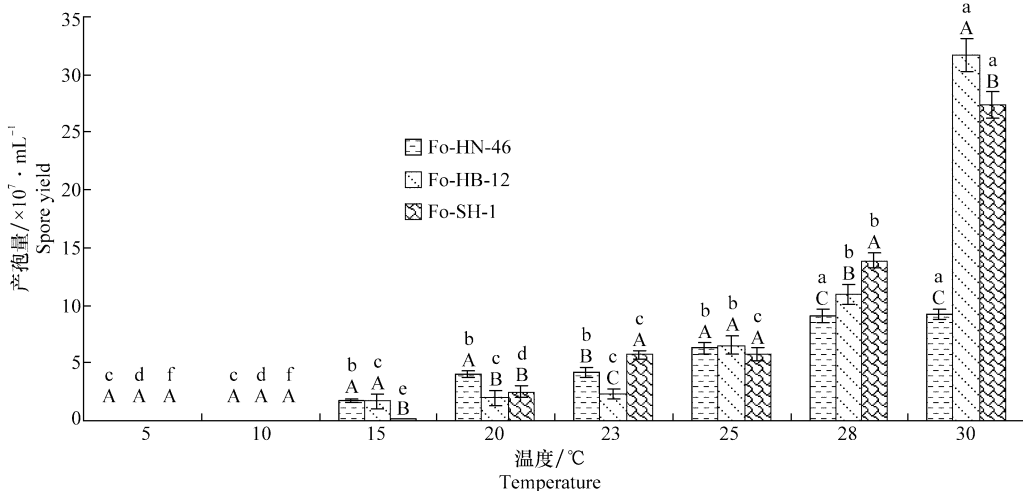
Lowercase letters indicate the significant difference of the same strain under different temperatures. The capital letters indicate the significant difference of different strains at the same temperature ($P \leq 0.05$)

图 1 温度对西瓜枯萎病菌生长速率的影响

Fig. 1 Effects of temperature on the mycelium growth rate of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*

从各菌株的产孢量(图 2)看,温度对 3 株枯萎病菌菌株的产孢量均有显著影响,各菌株在 10℃以下均不产孢,15℃时产孢量显著升高,产孢量均随温度升高而增加。3 个菌株适宜产孢的温度范围不同,Fo-HN-46 适宜产孢的温度范围为 28~30℃,Fo-HB-12 适宜产孢范围为 25~30℃,Fo-SH-1 适宜产孢范围为 23~30℃。3 个菌株均在 30℃下产孢量达到最高,

Fo-HB-12 和 Fo-SH-1 在 30℃下产孢量均显著升高,较在 28℃的产孢量分别增加了 1.9 倍和 0.97 倍,而 Fo-HN-46 在 30℃时产孢量增加不显著。比较同一温度下不同西瓜枯萎病菌的产孢量,发现 3 个菌株除在 5℃、10℃和 25℃产孢量无显著差异,在其他温度下产孢量均存在显著差异。温度为 28℃、30℃时 Fo-HB-12 和 Fo-SH-1 产孢量均显著大于 Fo-HN-46。



小写字母表示同一菌株在不同温度条件下产孢量的差异显著性,大写字母表示在相同温度条件下不同菌株间产孢量的差异显著性($P \leq 0.05$)

Lowercase letters indicate the significant difference of the same strain under different temperatures, the capital letters indicate the significant difference of different strains at the same temperature ($P \leq 0.05$)

图 2 温度对西瓜枯萎病菌的产孢量影响

Fig. 2 Effect of temperature on spore production of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*

2.2 光照对西瓜枯萎病菌生长及产孢的影响

在全光照、光照黑暗交替和全黑暗 3 个不同光照条件下培养上述 3 株西瓜枯萎病菌,生长速率和单位面积产孢量测定结果(表 2)表明,光照对西瓜枯萎病菌的菌丝生长速率没有显著影响,对产孢量

影响显著。Fo-HN-46 在黑暗条件下单位面积产孢量最高,Fo-HB-12 和 Fo-SH-1 在半光照的条件下产孢量最高。相同的光照条件下,3 个菌株的产孢量有显著差异, Fo-HN-46 的产孢量最大,其次是 Fo-HB-12,Fo-SH-1 在各光照处理下产孢量均最小。

表 2 光照条件对西瓜枯萎病菌生长速率和产孢量的影响¹⁾

Table 2 Effects of light on the mycelium growth rate and spore yield of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*

处理 Treatment	生长速率/mm·d ⁻¹ Growth rate			单位面积产孢量/×10 ⁷ ·cm ⁻² Spore yield per unit area		
	Fo-HN-46	Fo-HB-12	Fo-SH-1	Fo-HN-46	Fo-HB-12	Fo-SH-1
全光照 Full light	5.77 aA	5.98 aA	5.05 aA	8.75 bA	4.62 bB	0.17 bC
半光照 Alternation of light and darkness	5.55 aA	5.88 aA	4.83 aA	16.73 aA	10.21 aB	0.33 aC
黑暗 Full darkness	5.73 aA	5.87 aA	5.23 aA	19.01 aA	7.51 aB	0.28 aC

1) 小写字母表示同一菌株在不同光照条件下生长速率或产孢量的差异显著性,大写字母表示在相同光照条件下不同菌株间生长速率或产孢量的差异显著性($P \leq 0.05$)。

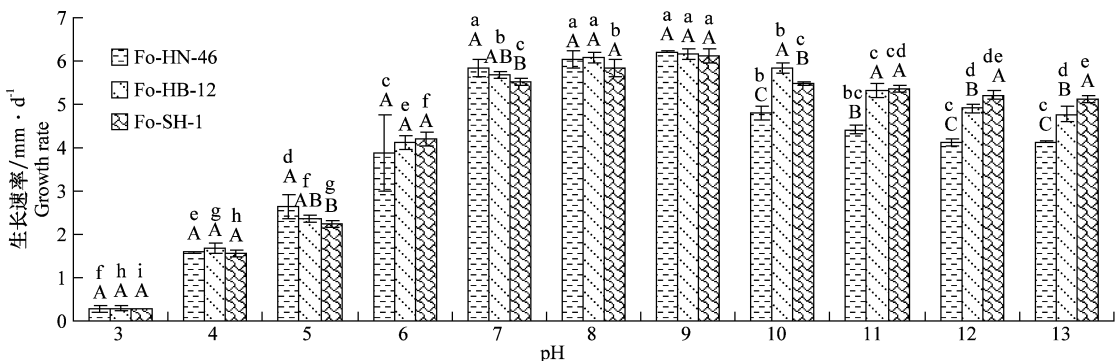
Lowercase letters indicate significant difference of the same strain under different light conditions; the capital letters indicate the significant difference of different strains at the same light condition ($P \leq 0.05$).

2.3 pH 对西瓜枯萎病菌生长及产孢的影响

pH 对各西瓜枯萎病菌的菌丝生长速率有显著影响,从图 3 可以看出,pH 3~6 时菌丝生长速率随 pH 增加而增加;当 pH 为 7~9 时,3 个菌株的生长速率分别达到最高,菌株 Fo-HN-46、Fo-HB-12、Fo-SH-1 分别在 pH 7~9、pH 8~9、pH 10~13 时的菌丝生长速率显著高于其他 pH 条件下;pH 10~13 下 3 个菌株的生长速率呈现下降趋势。比较相同 pH 下菌株之间的菌丝生长速率差异,结果显示,在 pH 3、4、6、8、9 时,3 个菌株的生长速率差异不显

著,pH 5~7 时,菌株 Fo-HN-46 菌丝生长显著快于 Fo-HB-12 和 Fo-SH-1,而 pH 10~13 时,菌株 Fo-HN-46 菌丝生长显著慢于 Fo-HB-12 和 Fo-SH-1。

pH 对西瓜枯萎病菌各菌株产孢量有显著影响,菌株 Fo-HN-46 在 pH 10 时的产孢量显著高于其他 pH,菌株 Fo-HB-12 在 pH 8 时的产孢量显著高于其他 pH,菌株 Fo-SH-1 在 pH 9~11 的产孢量显著高于其他 pH。在 pH 7~8 时,3 个菌株的产孢量无显著差异,而其他 pH 条件下,3 个菌株产孢量均存在较大差异,碱性条件较适宜产孢(图 4)。



小写字母表示同一菌株在不同pH条件下生长速率的差异显著性,大写字母表示在相同pH条件下不同菌株间生长速率的差异显著性($P \leq 0.05$)
Lowercase letters indicate the significant difference of the same strain under different pH conditions; the capital letters indicate the significant difference of different strains at the same pH condition ($P \leq 0.05$)

图 3 pH 对西瓜枯萎病菌生长速率的影响

Fig. 3 Effect of pH value on the mycelium growth rate of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*

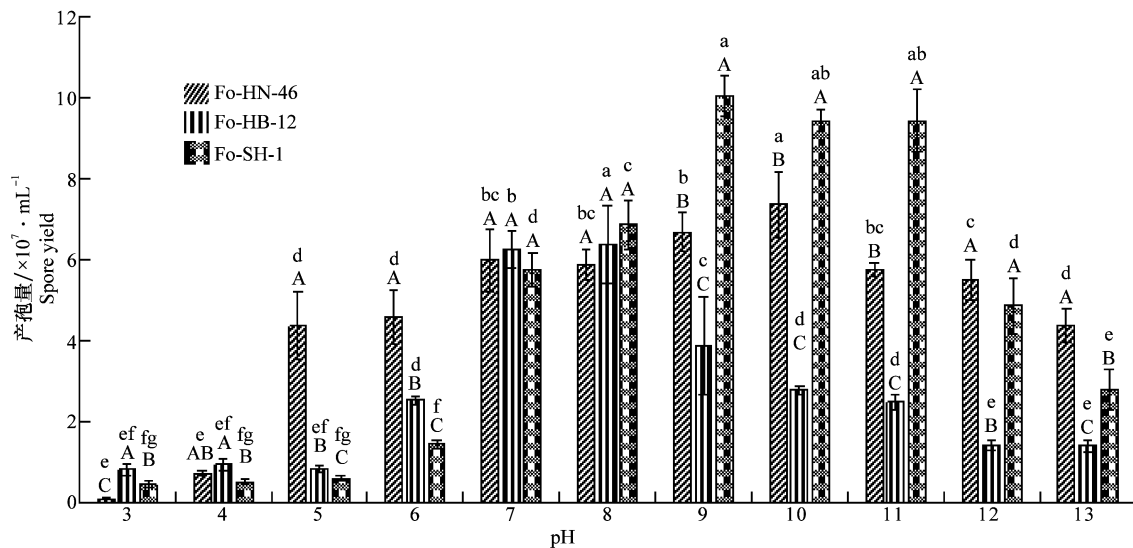
2.4 碳源、氮源对西瓜枯萎病菌生长及产孢的影响

以 Czapek 培养基为基础培养基,缺少碳源、氮源为对照,设置不同碳源、氮源处理培养 3 株西瓜枯萎病菌。

生长速率和产孢量测定结果表明,碳源对菌丝生长速率的影响较小,对产孢量影响显著。葡萄糖、淀粉和乳糖作为碳源能够显著增加 3 个菌株的产孢量,以葡萄糖对产孢量影响最为显著,葡萄糖为碳源时各菌株的产

孢量均显著增加,其中 Fo-HN-46 较缺碳对照产孢量增

加 7.9 倍,Fo-HB-12 增加 12.6 倍,Fo-SH-1 增加 7.3 倍。



小写字母表示同一菌株在不同pH条件下产孢量的差异显著性,大写字母表示在相同pH条件下不同菌株间产孢量的差异显著性($P \leq 0.05$)
Lowercase letters indicate the significant difference of the same strain under different pH conditions; the capital letters indicate the significant difference of different strains at the same pH condition ($P \leq 0.05$)

图4 pH对西瓜枯萎病菌产孢量的影响

Fig. 4 Effect of pH value on spore production of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*

氮源对菌丝生长速率和产孢量均有显著影响,蛋白胨能显著促进菌丝生长,硝酸钠、酵母粉和蛋白胨均能够显著增加各菌株的产孢量。Fo-HN-46以蛋白胨为氮源时产孢量最高,较缺氮对照增加 18.9 倍;Fo-HB-12 和 Fo-SH-1 以酵母粉为氮源时产孢量最高,较缺氮对照分别增加了 26.6 倍和 13.9 倍。而各菌株以硫酸铵为氮源时,产孢量均

显著下降(表 4)。

综合分析,碳源和氮源对西瓜枯萎菌产孢量的影响比对菌丝生长的影响大,氮源对西瓜枯萎菌产孢量的影响比碳源的影响大。Fo-HN-46 用最适碳源、氮源培养,其菌丝生长速率大于 Fo-HB-12 和 Fo-SH-1。Fo-SH-1 用最适碳源、氮源培养,其产孢量高于 Fo-HN-46 和 Fo-HB-12。

表3 不同碳源对西瓜枯萎病菌生长速率和产孢量的影响¹⁾

Table 3 Effects of different carbon sources on the mycelium growth rate and spore yield of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*

碳源 Carbon source	生长速率/mm · d ⁻¹ Growth rate			产孢量/×10 ⁶ · mL ⁻¹ Spore yield		
	Fo-HN-46	Fo-HB-12	Fo-SH-1	Fo-HN-46	Fo-HB-12	Fo-SH-1
葡萄糖 Glucose	12.26 aA	10.66 aB	10.56 aC	28.32 aB	27.67 aA	34.25 aA
蔗糖 Sucrose	11.86 bA	10.08 abB	9.46 cC	10.33 cB	11.73 cB	14.77 cA
淀粉 Starch	11.58 bcA	10.18 abB	10.01 bB	20.01 bB	21.67 bB	30.86 aA
麦芽糖 Maltose	11.51 cA	10.16 abB	9.88 bB	6.87 cdA	2.01 dB	7.87 cdA
乳糖 Lactose	11.71 bcA	10.18 abB	10.28 abB	16.55 bB	15.88 bB	25.72 bA
对照 CK	11.08 dA	9.88 bB	10.16 abB	3.57 dB	2.20 cdC	4.72 dA

1) 小写字母表示同一菌株在不同碳源下生长速率或产孢量的差异显著性,大写字母表示在相同碳源下不同菌株间生长速率或产孢量的差异显著性($P \leq 0.05$)。

Lowercase letters indicate the significant difference of the same strain under different carbon sources; the capital letters indicate the significant difference of the different strains at the same carbon sources($P \leq 0.05$).

3 结论与讨论

尖孢镰刀菌西瓜专化型引起的西瓜枯萎病在我国各西瓜产区均有发生。本试验选用地理位置相距较远的海南、河北和上海三个地区的西瓜枯萎病菌,

研究了温度、光照、pH 及碳氮源对菌株生长和产孢的影响。结果发现,菌株 Fo-HN-46、Fo-HB-12 和 Fo-SH-1 的最适生长温度范围为 25~28℃,与范鸿雁等人研究的海南、江苏和四川各地的菌株适宜生长温度基本一致^[5-9];本研究发

SH-1 都是在半光照和黑暗条件适宜产孢,与范鸿雁的研究结果海南菌株在半光照条件下产孢量高^[5]一致;pH 对西瓜枯萎病菌生长的影响研究表明,3 株菌株均在 pH 7~9 的偏碱性条件最适生长,与范鸿雁、徐瑞福等人的研究结果基本一致^[5,10-11]。本研究还发现 3 株菌株最适产孢的 pH 为 9~11,较菌丝生长适宜的 pH 范围偏碱,与前人研究相一致^[10-11]。比较 3 株菌株在

相同 pH 下的产孢量,发现在 pH 为 5、6 时,海南菌株 Fo-HN-46 的产孢量显著高于河北菌株 Fo-HB-12 和上海菌株 Fo-SH-1。这可能与海南省农田土壤为酸性总体 pH 水平为 5.2,而河北和上海为中性偏碱的土壤,枯萎病菌对当地的土壤产生了一定的适应性有关^[12-14]。由上述结果可见,3 株菌株最适培养条件均有一定差异,可能与各地区气候及土壤条件有关。

表 4 不同氮源对西瓜枯萎病菌生长速率和产孢量的影响¹⁾

Table 4 Effects of different nitrogen sources on the mycelium growth rate and spore production of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*

氮源 Nitrogen source	生长速率/mm·d ⁻¹ Growth rate			产孢量/×10 ⁶ ·mL ⁻¹ Number of spore		
	Fo-HN-46	Fo-HB-12	Fo-SH-1	Fo-HN-46	Fo-HB-12	Fo-SH-1
硝酸钠 Sodium nitrate	11.86 bA	10.08 dB	9.46 cC	10.31 cB	11.73 cA	14.77 cA
硫酸铵 Ammonium sulphate	9.43 eA	7.93 fB	9.16 cA	1.02 fB	1.93 fB	5.92 fA
尿素 Urea	10.43 dA	8.91 eB	8.82 dB	3.67 eB	2.11 eB	11.55 dA
酵母粉 Yeastpowder	12.61 aA	11.36 bB	10.73 bC	102.77 bA	95.50 aB	134.25 aA
蛋白胨 Peptone	12.76 aA	11.71 aB	11.58 aB	111.00 aA	63.12 bB	102.54 bA
对照 CK	11.01 cA	10.68 cA	10.86 bA	5.87 dB	3.57 dC	9.65 eA

1) 小写字母表示同一菌株在不同氮源下生长速率或产孢量的差异显著性,大写字母表示在相同氮源下不同菌株间生长速率或产孢量的差异显著性(P≤0.05)。Lowercase letters indicate the significant difference of the same strain under different nitrogen sources; the capital letters indicate the significant difference of the different strains at the same nitrogen sources(P≤0.05).

西瓜枯萎病菌在有机氮源下生长和产孢量要显著高于无机氮源,而有研究表明增施有机肥能够显著降低枯萎病的发生^[15],因此说明有机肥中有其他抑制病原菌生长或侵染的物质存在,还需进一步研究病原菌产孢和病害发生的关系;本研究结果硫酸铵为氮源培养枯萎病菌时可显著降低菌株产孢量,与 Ioannou 等报道的硫酸铵与日光暴晒同时使用对西瓜枯萎病防治更加有效的结果一致^[16]。由此可见,对西瓜枯萎病菌生长及产孢环境及营养条件的研究,对西瓜枯萎病的防治具有一定的指导作用。

参考文献

[1] 寇清荷,梁志怀,王志伟,等. 西瓜枯萎病菌生理小种鉴定与抗病育种研究进展[J]. 中国蔬菜,2012(14):9-17.
 [2] Zhang Zhenggang, Zhang Jingyu, Wang Yuchao, et al. Molecular detection of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* and *Mycosphaerella melonis* in infected plant tissues and soil [J]. FEMS Microbiology Letters, 2005, 249(1): 39-47.
 [3] 李敏,王维华,刘润进,等. 西瓜枯萎病的抗病性研究进展[J]. 莱阳农学院学报,2003,20(3):165-167.
 [4] 国家西甜瓜产业技术体系,《中国蔬菜》编辑部. 全国西瓜主要优势产区生产现状(一)[J]. 中国蔬菜,2011(13):5-9.
 [5] 范鸿雁,周文静,王祥和,等. 海南大棚西瓜枯萎病病原菌生物学

特性及室内毒力测定[J]. 热带农业科学,2012,32(6):70-75.
 [6] 许田芬,李凌,谢立群,等. 西瓜枯萎病病原菌生长特性的研究[J]. 南方农业,2007,1(4):11-17.
 [7] 向鲲鹏. 西瓜枯萎病病原菌生物学特性及生物防治的初步研究[D]. 雅安:四川农业大学,2008.
 [8] 周文静. 海南大棚西瓜主要病原真菌鉴定及化学防治初步研究[D]. 海口:海南大学,2012.
 [9] 肖荣凤,刘波,朱育菁,等. 西瓜枯萎病原菌鉴定及其生物学特性的研究[J]. 武夷科学,2004,20(3):70-73.
 [10] 郑肖兰,崔倡华,冯慧丽,等. 尖孢镰刀菌西瓜专化型菌株的生物学特性研究[J]. 热带作物学报,2006,27(1):97-100.
 [11] 徐瑞富,刘钦林,刘起丽,等. 西瓜枯萎病菌的生物学特性研究[J]. 河南科技学院学报(自然科学版),2013,41(2):36-40.
 [12] 李福燕,李许明,吴鹏飞,等. 海南省农用地土壤重金属含量与土壤有机质及 pH 的相关性[J]. 土壤,2009,41(1):49-53.
 [13] 潘瑞,刘树庆,颜晓元,等. 河北省农地土壤肥力特征时空变异分析及其质量评价[J]. 土壤通报,2011,42(4):828-832.
 [14] 古一帆,何明,李进玲,等. 上海奉贤区土壤理化性质与重金属含量的关系[J]. 上海交通大学学报(农业科学版),2009,28(6):601-605.
 [15] 李峰,李明桃. 西瓜枯萎病发生特征及综合防治技术[J]. 现代农业科技,2013(9):142-143.
 [16] Ioannou N, Poullis C A, Heale J B. *Fusarium* wilt of watermelon in Cyprus and its management with soil solarization combined with fumigation or ammonium fertilizers [J]. EPPO Bulletin, 2000, 30(2): 223-230.

(责任编辑:杨明丽)