



硝酸镧对黄绿木霉及其抑制大豆核盘菌能力的影响

林志伟, 李响, 李可, 肖翠红, 孙冬梅

(黑龙江八一农垦大学 农学院, 黑龙江 大庆 163319)

摘要:为研究黄绿木霉菌(*Trichoderma aureoviride*)的拮抗性能与硝酸镧之间的相互关系,以大豆菌核病核盘菌(*Sclerotinia sclerotiorum*)为指示菌,采用固体培养与液体培养两种方式,检测添加不同浓度硝酸镧对黄绿木霉菌拮抗作用的影响。结果表明:硝酸镧含量为 $210\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 对黄绿木霉菌菌丝生长出现抑制,达到 $1\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时可完全抑制黄绿木霉菌的生长,但低于 $180\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的硝酸镧浓度可刺激黄绿木霉菌的生长;硝酸镧浓度高于 $330\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 对大豆菌核病核盘菌菌丝生长出现抑制,达到 $1\ 100\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时可完全抑制大豆菌核病核盘菌的生长。一定范围内,硝酸镧的添加对黄绿木霉菌拮抗大豆菌核病核盘菌无影响,对峙培养抑菌率仍可达 100%;发酵中添加硝酸镧后,粗提物抑菌能力不变,但拮抗带明显加强。

关键词:硝酸镧;黄绿木霉菌;大豆菌核病核盘菌;拮抗;对峙培养

Effect of Lanthanum Nitrate on *Trichoderma Aureoviride* and Its Inhibition Ability on *Sclerotinia Sclerotiorum*

LIN Zhi-wei, LI Xiang, LI Ke, XIAO Cui-hong, SUN Dong-mei

(Agronomy College of Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract: In order to study the relationship between *Trichoderma aureoviride* antagonistic properties with lanthanum nitrate, *Sclerotinia sclerotiorum* was taken as the indicator, using solid and liquid culture methods, the effects of different concentrations of lanthanum nitrate on *T. aureoviride* antagonistic ability were detected. The results showed that the inhibited concentration of lanthanum nitrate on the mycelial growth of *T. aureoviride* was $210\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, and the completely inhibited concentration was $1\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, but the concentration below $180\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ could stimulate the growth of mycelium. The inhibited concentration of lanthanum nitrate on the mycelial growth of *S. sclerotiorum* was higher than $330\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, the completely inhibited concentration was $1\ 100\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$. Within a certain range, the addition of lanthanum nitrate has no inhibition effect of *T. aureoviride* on *S. sclerotiorum*, the inhibition rate under confrontation culture was still up to 100%. After the addition of lanthanum nitrate in fermentation, the inhibition ability of crude extracts remained unchanged, but the antagonistic bands were obviously strengthened.

Keywords: Lanthanum nitrate [$\text{La}(\text{NO}_3)_3$]; *Trichoderma aureoviride*; *Sclerotinia sclerotiorum*; Inhibition; Confrontation culture

1917年起稀土元素的生物活性就开始受到我国学者的关注,之后苏联、罗马尼亚、日本、美国、英国等均有稀土农用的相关研究^[1-3]。70年代我国成为世界上第一个稀土商品化农用的国家^[4-5],其研究主要集中在稀土对作物生长发育、作物生理生化的影响及机理研究,稀土在土壤中的转移、作物中的分布、累积及迁移研究等方面^[6-8]。镧作为常用的稀土元素之一,也被学者所关注。褚海燕、刘庆章等^[9-12]针对稀土元素镧在土壤微生物、植物病原细菌、真菌及土壤与植物相关抗逆酶活性等的影响方面进行了报道,证实了镧对土壤有益微生物的促进、对植物病原细菌、真菌的抑制及对植物抗逆酶

的促进。

黄绿木霉菌是具有高效生防潜力的拮抗真菌,其拮抗谱较广,对水稻纹枯病、大豆根腐病、大豆菌核病等不同病害的病原微生物均具拮抗作用^[13]。大豆菌核病是大豆的常发病之一,严重影响大豆产量和品质,防治上以耐病品种选育为主^[14];在生物防治上,黄绿木霉菌对菌核病菌具有拮抗作用,且能力较强,孙冬梅等^[15]对硝酸铈影响黄绿木霉菌拮抗能力方面进行了报道,证实了一定浓度下硝酸铈可与拮抗真菌复合应用。鉴于镧和铈为常用的农用稀土元素^[16-17],本文应用硝酸镧,以拮抗真菌-黄绿木霉菌为研究对象,以大豆菌核病核盘菌为拮

收稿日期:2018-08-11

基金项目:大庆市指导项目(zd-2017-63);黑龙江农垦总局项目(HNK135-02-06-04);寒区环境微生物与农业废弃物资源化利用重点实验室项目(201707);黑龙江省大学生创新项目(201710223040);黑龙江八一农垦大学创新项目(xc2017033)。

第一作者简介:林志伟(1970-),男,硕士,副教授,主要从事植物保护研究。E-mail: lzwsm@sohu.com。

抗对象,通过固体培养与液体发酵两种方式,探讨了镧对黄绿木霉菌拮抗核盘菌能力的影响,为稀土硝酸镧与黄绿木霉菌复合应用提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试菌种 黄绿木霉(*T. aureoviride*)、大豆菌核病菌(*S. sclerotiorum*)由黑龙江八一农垦大学农学院提供。

1.1.2 培养基 马铃薯蔗糖培养基(PD):马铃薯 200 g,蔗糖 20 g,水 1 000 mL,pH 为自然,115℃ 湿热灭菌处理 20 min;马铃薯蔗糖琼脂培养基(PDA):在上述 PD 培养基中添加 1.8% 琼脂。

1.2 方法

1.2.1 硝酸镧对黄绿木霉菌及核盘菌菌丝生长的影响 利用直径为 4 mm 的打孔器分别取 PDA 平板中生长 3 d 的黄绿木霉菌和核盘菌菌落,将同心环处的菌碟分别接种于直径为 100 mm 的含 15 mL 的 25 个不同浓度硝酸镧(表 1)的 PDA 的培养皿中央,培养 2 d 测量生长菌落直径,分别测定 2 种菌在各浓度硝酸镧培养基中的菌落直径,以第 2 天和第 3 天菌落直径之差记为生长速率,每个处理 3 次重复。

1.2.2 硝酸镧对黄绿木霉菌孢子萌发的影响 将 2 mL 10⁷ 个·mL⁻¹ 的黄绿木霉孢子悬液接种到含有 20 mL 浓度分别为 0~1 200 μg·mL⁻¹ 的液体硝酸镧 PD 基质的 100 mL 三角瓶中,利用凹玻片法在显微镜下观察黄绿木霉菌孢子萌发情况,通过血球计数板与干重法^[18]测定孢子萌发后再次产孢量及菌丝干重。

1.2.3 不同浓度硝酸镧对黄绿木霉菌与核盘菌拮抗的影响 依据 1.2.1 的试验结果,分别取生长 3 d 的黄绿木霉菌与核盘菌菌碟(直径 4 mm),接种于含硝酸镧浓度分别为 30~800 μg·mL⁻¹ 的无菌 PDA 平板(直径 100 mm)中,每个平板的培养基含量均为 20 mL,2 接种点间距 30 mm,27℃ 下恒温培养,以不接种黄绿木霉菌为对照,重复 5 次。接种后每天测量核盘菌及黄绿木霉菌的菌落半径,检查 2 菌落间拮抗线的有无、拮抗线变化情况及菌落间是否覆盖。

1.2.4 不同浓度硝酸镧的黄绿木霉菌发酵液对核盘菌生长的影响

(1)对核盘菌菌丝干重的影响:首先获得不同浓度硝酸镧的黄绿木霉菌发酵液,即在 PD 培养液中添加不同浓度硝酸镧,灭菌冷却,接入 1% 的黄绿

木霉菌孢子悬液,28℃ 摇床中 170 r·min⁻¹,振荡培养 4 d,滤纸过滤后得滤液,经灭菌后即为不同浓度硝酸镧的黄绿木霉发酵液(简称为发酵液)。

以含 50% 发酵液的 PD 为处理,以不含发酵液但含相应浓度硝酸镧的 PD 为对照,接入同样大小的核盘菌菌碟,每个处理 3 次重复,27℃ 培养箱中静止培养,培养 7 d 后测菌丝干重。

(2)对核盘菌菌丝生长速率的影响:配制发酵液含量为 50% 的 PDA,以不含发酵液但含相应浓度硝酸镧的 PDA 为对照,在备好的平皿中接入相同大小的核盘菌菌碟,接菌后逐天记录菌落直径变化情况。

(3)在(2)基础上,分别配制发酵液含量为 1/2、1/3、1/4、1/6、1/8、1/9 的 PDA,以不含发酵液但含相应浓度的硝酸镧的 PDA 为对照,制作平皿后,接入相同大小的核盘菌菌碟,逐天记录菌落直径变化,应用最小二乘法获得发酵液与抑菌率的回归方程,比较不同浓度硝酸镧的发酵液抑菌率为 50% 时稀释倍数的变化。

2 结果与分析

2.1 硝酸镧对黄绿木霉与核盘菌菌丝生长的影响

通过测定菌丝生长速率发现:硝酸镧对黄绿木霉菌与核盘菌的菌丝生长作用相似,即在一定的低浓度范围内促进,浓度稍高抑制,浓度更高则完全抑制。硝酸镧浓度低于 180 μg·mL⁻¹ 时,可以促进黄绿木霉菌菌丝的生长,在 210~900 μg·mL⁻¹ 时,可抑制黄绿木霉菌丝生长,但当浓度高于 1 000 μg·mL⁻¹ 时,则可完全抑制黄绿木霉菌菌丝生长;对核盘菌而言,低于 300 μg·mL⁻¹ 时可促进菌丝生长,高于 1 100 μg·mL⁻¹ 可完全抑制核盘菌菌丝的生长(表 1)。说明黄绿木霉菌比核盘菌对硝酸镧稍敏感,但考虑到重金属元素的累积作用及自然界中微生物的抗性,建议生产中应用浓度不宜过高。

2.2 硝酸镧对黄绿木霉菌孢子的影响

不同浓度硝酸镧对黄绿木霉菌孢子量及菌丝干重影响不同,供试浓度范围内黄绿木霉菌孢子在低于 700 μg·mL⁻¹ 的硝酸镧 PD 中均有孢子产生,在 0~600 μg·mL⁻¹ 的硝酸镧浓度下,随着浓度增高,孢子量逐渐下降且差异显著。添加 100 μg·mL⁻¹ 硝酸镧的处理孢子萌发后的菌丝生长量高于空白对照,在 200~900 μg·mL⁻¹ 硝酸镧的处理中,添加硝酸镧可不同程度降低菌丝干重(表 2)。这可能与镧浓度过高细胞膜或染色体组受伤害有关。

表 1 不同浓度硝酸镧对黄绿木霉菌与核盘菌菌丝生长的影响
Table 1 Effect of La³⁺ on the growth of *T. aureoviride* and *S. sclerotiorum* in solid culture

镧浓度 La ³⁺ content /(μg·mL ⁻¹)	菌丝生长速率 Mycelium growth rate /(mm·d ⁻¹)		镧浓度 La ³⁺ content /(μg·mL ⁻¹)	菌丝生长速率 Mycelium growth rate /(mm·d ⁻¹)	
	黄绿木霉菌 <i>T. aureoviride</i>	核盘菌 <i>S. sclerotiorum</i>		黄绿木霉菌 <i>T. aureoviride</i>	核盘菌 <i>S. sclerotiorum</i>
0	34.8 c	22.5 f	390	21.8 g	19.6 g
30	37.2 a	32.3 a	420	21.5 g	18.7 gh
60	37.1 a	30.4 b	450	20.2 hi	17.5 hi
90	35.5 bc	31.3 ab	500	20.4 h	16.2 i
120	36.3 ab	30.2 b	550	19.2 i	15.8 i
150	35.2 c	29.4 bc	600	16.8 j	15.3 i
180	35.1 c	28.2 c	700	9.2 k	12.5 j
210	32.8 d	27.4 c	800	6.4 l	10.4 k
240	33.3 d	26.2 d	900	3.2 m	8.5 l
270	30.5 e	24.5 de	1000	0 n	3.2 m
300	27.5 f	23.3 ef	1100	0 n	0 n
330	28.0 f	20.1 g	1200	0 n	0 n
360	27.2 f	20.2 g			

不同小写字母差异显著($P<0.05$)。下同。
Different lowercase indicate significant difference ($P<0.05$). The same below.

表 2 镧对液体培养黄绿木霉菌孢子的影响
Table 2 Effect of La³⁺ on the growth of *T. aureoviride* spore in liquid culture

镧浓度 La ³⁺ content/(μg·mL ⁻¹)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
菌丝干重 Mycelium dry weight/g	0.092 b	0.099 a	0.085 cd	0.089 c	0.086 cd	0.082 de	0.076 e	0.074 e	0.078 e	0.067 f
孢子量 Spore number/(10 ⁵ 个·mL ⁻¹)	508 a	148 b	50.4 c	8.4 d	5.28 d	1.04 d	0.52 d	—	—	—

2.3 硝酸镧对黄绿木霉菌抑制菌核病核盘菌能力影响

依据 2.1 的试验结果,选取硝酸镧浓度低于 800 μg·mL⁻¹,黄绿木霉菌与核盘菌对峙培养后发现:在含有不同浓度硝酸镧的 PDA 培养基中,黄绿木霉菌落生长速度均优于核盘菌,同皿中 2 菌株接触处后,黄绿木霉的菌落逐渐向核盘菌扩展,核盘

菌菌落回缩,黄绿木霉的菌丝与孢子最终可完全覆盖核盘菌菌落。对峙初期交界处有可溶性棕褐色至褐色拮抗带出现,且添加镧的处理中,拮抗带更加明显,从培养皿的背面观察菌落,可见核盘菌菌落的残留踪迹,抑菌作用最高可达 100%(表 3 和图 1~4),但浓度过高时,黄绿木霉菌拮抗核盘菌时间延长 10 d 以上,其菌丝仍可完全覆盖核盘菌菌落。

表 3 黄绿木霉与核盘菌的拮抗中菌落半径
Table 3 Bi-culture of *T. aureoviride* and *S. sclerotiorum* colony radius in solid culture (mm)

镧浓度 La ³⁺ content /(μg·mL ⁻¹)	不同时间黄绿木霉菌菌落 Colony radius of <i>T. aureoviride</i> in different time					不同时间核盘菌菌落 Colony radius of <i>S. sclerotiorum</i> in different time				
	24 h	48 h	96 h	120 h	168 h	24 h	48 h	96 h	120 h	168 h
30	7.2	19.8	21.2	25.6	满皿	5.0	9.2	9.0	6.2	0
60	8.6	21.5	22.8	26.5	满皿	5.8	11.0	11.0	7.4	0
90	10.5	21.8	23.5	28.5	满皿	6.0	10.5	10.2	6.5	0
120	10.6	19.8	21.5	25.6	满皿	5.8	10.5	10.2	6.6	0
150	8.4	22.0	24.2	27.8	满皿	5.6	10.8	10.6	6.8	0
180	11.0	22.8	25.2	28.4	满皿	5.6	9.8	9.5	6.8	0
210	10.8	21.5	21.2	26.2	满皿	5.4	9.6	9.5	7.0	0
240	8.6	18.9	19.5	25.6	满皿	6.2	12.0	11.6	7.2	0
270	8.8	21.0	22.5	26.4	满皿	5.5	10.2	9.8	7.0	0
300	9.2	17.8	18.0	23.8	满皿	6.0	13.0	12.0	7.2	0
330	7.8	20.2	21.0	25.2	满皿	5.6	10.2	10.0	7.8	0
360	6.5	23.0	25.2	28.0	满皿	6.0	10.8	10.2	6.8	0
390	8.0	22.0	25.2	27.2	满皿	5.2	10.6	10.2	8.0	0
420	7.6	20.8	22.0	25.8	满皿	5.6	12.2	11.5	8.2	0
450	5.2	18.0	21.5	25.8	满皿	4.6	8.2	8.4	8.4	0

续表 3

镧浓度 La ³⁺ content /($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	不同时间黄绿木霉菌菌落					不同时间核盘菌菌落				
	Colony radius of <i>T. aureoviride</i> in different time					Colony radius of <i>S. sclerotiorum</i> in different time				
	24 h	48 h	96 h	120 h	168 h	24 h	48 h	96 h	120 h	168 h
500	4.6	16.0	19.2	23.0	满皿	5.0	8.0	8.2	8.0	6.4
600	4.2	16.2	16.5	22.2	满皿	4.2	7.8	7.8	7.8	5.5
700	4.0	12.4	16.4	21.5	30.5	4.2	7.6	7.8	7.8	3.2
800	4.0	10.4	15.4	20.2	28.8	3.0	6.2	7.2	7.2	5.0
CK	9.4	18.6	20.0	26.5	满皿	5.4	9.6	9.8	7.0	0

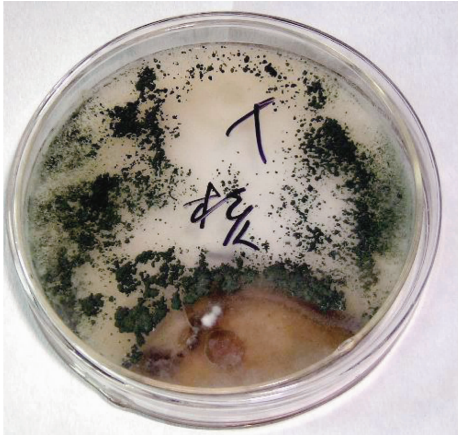


图 1 未添加镧的黄绿木霉与菌核菌正面
Fig. 1 Bi-culture of *T. aureoviride* to *S. sclerotiorum* (inverse)

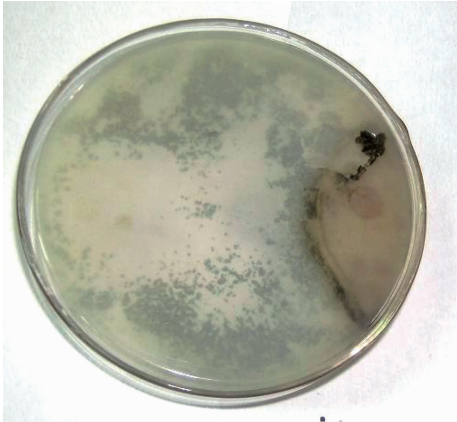


图 2 未添加镧的黄绿木霉与菌核菌反面
Fig. 2 Bi-culture of *T. aureoviride* to *S. sclerotiorum* (obverse)

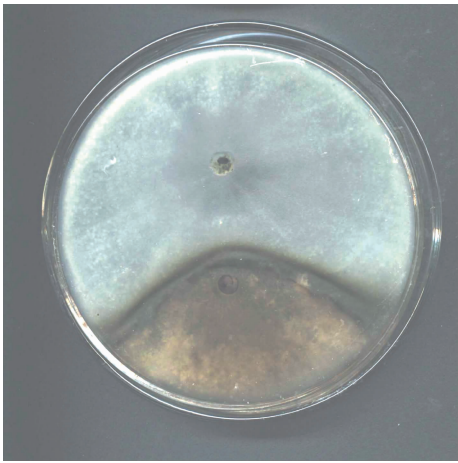


图 3 添加 100 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 镧的黄绿木霉与菌核菌反面
Fig. 3 Bi-culture of *T. aureoviride* to *S. sclerotiorum* added La³⁺ 100 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ (obverse)

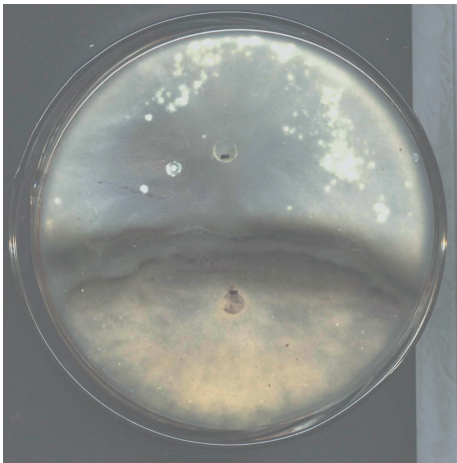


图 4 添加 400 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 镧的黄绿木霉与菌核菌反面
Fig. 4 Bi-culture of *T. aureoviride* to *S. sclerotiorum* added La³⁺ 400 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ (obverse)

2.4 不同浓度硝酸镧的黄绿木霉菌发酵液对核盘菌的抑制

在供试 0 ~ 500 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度硝酸镧的范围内, 硝酸镧的添加对发酵液抑菌能力无影响, 核盘菌均无生长, 菌丝干重为零, 菌丝生长速率也为零。因此, 镧浓度为 0 ~ 500 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, 无论添加硝酸镧与否, 50% 浓度的黄绿木霉菌发酵液抑菌作用均为 100% (表 4); 当镧浓度为 600 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 50% 浓

度的黄绿木霉菌发酵液抑菌作用仍高达 98%。
对照不含黄绿木霉发酵液但含有硝酸镧的 PD 中, 病菌菌丝均可长成菌丝片, 且在浓度低于 200 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 菌丝干重高于对照 3.7%, 生长速率高于对照 23% 以上; 而在 400 ~ 600 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度下, 菌片干重与菌丝生长速率均有所下降, 这与 2.1 的结论相吻合, 可能仍与低浓度的镧刺激生长而高浓度抑制有关。

表 4 镧对黄绿木霉发酵液抑制菌核菌作用的影响
Table 4 Effect of La³⁺ on the inhibition of *T. aureoviride* fermentation to *S. sclerotiorum*

镧浓度 La ³⁺ content /(μg·mL ⁻¹)	菌丝干重 Mycelium dry weight/g		菌丝生长速率 Mycelium growth rate/(mm·d ⁻¹)	
	未添加发酵液 No fermentation	添加发酵液 Adding fermentation	未添加发酵液 No fermentation	添加发酵液 Adding fermentation
0	0.186 b	0	23.2 c	0
100	0.192 a	0	30.5 a	0
200	0.193 a	0	28.4 b	0
300	0.180 c	0	20.6 d	0
400	0.183 bc	0	21.4 cd	0
500	0.175 d	0	18.5 e	0
600	0.162 e	0.015	9.4 f	0.2

为进一步比较各浓度下发酵液抑菌能力的变化,通过测定添加不同浓度硝酸镧的黄绿木霉发酵液对核盘菌的抑制率变化,依据对数方程拟合法,得到各发酵液的抑菌毒力回归方程,计算不同硝酸镧浓度下发酵液的抑菌稀释倍数变化(表 5)。结果表明:硝酸镧浓度低于 200 μg·mL⁻¹时,发酵液抑菌率达到 50% 时的稀释倍数高于对照,而硝酸镧浓度

高于 300 μg·mL⁻¹时,发酵液的抑菌稀释倍数下降。综合考虑硝酸镧影响黄绿木霉菌与核盘菌生长发现:硝酸镧对黄绿木霉菌生长抑制最低浓度为 210 μg·mL⁻¹,抑制核盘菌生长最低浓度为 330 μg·mL⁻¹,而镧对黄绿木霉发酵液抑菌的影响浓度提高到 300 μg·mL⁻¹(表 1 和 5),这可能与硝酸镧对两种不同菌体生长的影响有关。

表 5 添加硝酸镧对黄绿木霉发酵液抑菌能力的影响
Table 5 Effect of La³⁺ concentration on the inhibition of *T. aureoviride* fermentation to *S. sclerotiorum*

硝酸镧浓度 La ³⁺ content /(μg·mL ⁻¹)	回归方程 Regression equation	R ²	抑菌率为 50% 时稀释倍数 Dilution ration of inhibitor 50%	变化率 Change ratio/%
0	y = 53.247ln(x) + 149.91	0.9300	7.53	0
100	y = 51.214ln(x) + 148.55	0.9181	7.85	-3.85
200	y = 49.967ln(x) + 147.38	0.9132	8.02	-6.51
300	y = 52.149ln(x) + 145.14	0.9400	7.20	4.38
400	y = 57.024ln(x) + 147.64	0.9640	6.54	13.1
500	y = 55.603ln(x) + 142.29	0.9755	6.34	15.8
600	y = 53.853ln(x) + 134.61	0.9757	5.81	22.8

3 讨论

我国自 1972 年开始稀土农用后,在基础性理论研究工作中取得了瞩目的成就。有关稀土的毒理卫生评价,稀土农用的植物生理学基础、稀土的土壤生态效应等方面都获得了一系列系统的研究成果,为我国农业发展起到了助推作用^[1]。大量研究证实,稀土微肥除具有增产效果外^[6],一定程度上还可改善作物品质^[8],增强作物抗病性^[4],减少农药施用量^[19]。

稀土元素具有 Hormesis 现象,即低剂量刺激高剂量抑制。研究证实,高浓度的稀土元素会对植物细胞膜具有破坏作用,影响植物的抗氧化系统,甚至产生染色体畸变效应等;稀土对微生物的生长也

具有相似的作用效果^[11,20]。本文在研究硝酸镧对黄绿木霉菌与核盘菌生长的影响时,也得到相同的结果,即低浓度促进,高浓度抑制,但对不同真菌的促进与抑制浓度不完全一致。

目前有关稀土的研究主要针对单一的菌株,而很少考虑对拮抗体系的作用关系,孙冬梅等^[15]在研究硝酸铈影响黄绿木霉菌拮抗大豆菌核病核盘菌时证实,一定浓度下铈对拮抗作用无影响。本文在研究镧的作用时也得到相同的结论,即添加镧与否并不影响黄绿木霉菌对核盘菌的抑菌作用,且拮抗带更加明显;稀土元素浓度过高,将会影响到拮抗菌孢子的萌发与进一步产孢。综合考量稀土农用的效果,关注生态效应,建议稀土农用中浓度不易过高,这样既可以防止稀土元素的过度累积而危害

植株,又可以避免土壤微生物生态区系变化,影响有益微生物的繁殖。

4 结 论

镧在一定浓度范围内可促进微生物的生长,但对不同菌株促进能力不同;添加 0 ~ 500 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 硝酸镧的黄绿木霉菌发酵液达到 50% 时对菌核病菌的抑制能力没有改变,但不同浓度的硝酸镧会影响抑菌率为 50% 时的稀释倍数,在高于 300 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的硝酸镧添加时,会降低稀释倍数,即高浓度会使发酵液的抑菌能力稍有下降。鉴于此,农业生产中硝酸镧在土壤中的累积浓度不易过高。

参考文献

[1] 解惠光. 中国稀土元素在农业上应用研究进展[J]. 科学通报, 1991, 36(8): 561-564. (Xie H G. Advances in application of rare earth elements in agriculture in China[J]. Science Bulletin, 1991, 36(8): 561-564.)

[2] Fairclough R H, Miake-Lye R C, Stroud R M, et al. Location of terbium binding sites on acetylcholine receptor-enriched membrane [J]. Journal of Molecular Biology, 1986, 189: 673-685.

[3] Hanzely L, Harnet K H. Effect of lanthanum on cell wall elongation in Avena coleoptile segments: Physiological and ultra-structural studies[J]. Zeitschrift Fur Pflanzenphysiologie, 1982, 107: 223-230.

[4] 高岩, 张汝民, 郭旭宏. 盐胁迫下稀土浸种对薏苡幼苗膜脂过氧化作用影响的研究[J]. 稀土, 1995, 16(6): 35-36. (Gao Y, Zhang R M, Guo X H. Effect of RE soaking seeds under salt coercing on the Peroxidation of membrane LIPid of Coix Lacryma — jobi Linn seedlings[J]. Chinese Rare Earths, 1995, 16(6): 35-36.)

[5] 刘书娟, 王立军, 章申, 等. 长期喷施稀土对土壤-植物(小麦)系统中稀土元素分布累积及运移的影响[J]. 应用生态学报, 1997, 8(1): 55-58. (Liu S J, Wang L J, Zhang S, et al. Effect of long term foliage dressing rare earth elements (REEs) on their distribution, accumulation and translocation in soil spring wheat system[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1997, 8(1): 55-58.)

[6] 魏幼璋. 稀土在农业中应用的生理学基础[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 464-470. (Wei Y Z. Physiological basis for the application of rare earth in agriculture[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2000, 6(4): 464-470.)

[7] 白宝璋, Kastori R. 稀土水培对大豆生长的影响[J]. 大豆科学, 1993, 12(4): 289-295. (Bai B Z, Kastori R. Effect of rare earth on growth of soybean plants by water culture[J]. Soybean Science, 1993, 12(4): 289-295.)

[8] 王小玲, 刘腾云, 高柱, 等. 稀土元素对作物生长及作物品质影响的研究进展[J]. 核农学报, 2016, 30(6): 1240-1247. (Wang X L, Liu T Y, Gao Z, et al. A review of rare earth elements on crop growth and quality[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2016, 30(6): 1240-1247.)

[9] 褚海燕, 李振高, 谢祖彬, 等. 稀土元素镧对红壤微生物区系

的影响[J]. 环境科学, 2000, 21(6): 28-31. (Chu H Y, Li Z G, Xie Z B, et al. Effect of Lanthanum on the microflora of red soil[J]. Environmental Science, 2000, 21(6): 28-31.)

[10] 梁涛, 丁士明, 宋文冲, 等. 稀土元素在植物中的分异研究进展[J]. 中国稀土学报, 2007, 25(2): 129-137. (Liang T, Ding S M, Song W C, et al. Advances of rare earth elements fractionations and mechanisms studies in plants and their significance [J]. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 2007, 25(2): 129-137.)

[11] 李丝雨, 傅惠鹏, 董伟. 稀土与微生物相互作用的研究进展[J]. 江西理工大学学报, 2017, 38(3): 56-62. (Li S Y, Fu H J, Dong W. Research progress on the interaction of microorganisms and rare earth[J]. Journal of Jiangxi University of Science and Technology, 2017, 38(3): 56-62.)

[12] 刘庆都, 章健, 承河元, 等. 镧对三种植物病原真菌生长的影响[J]. 稀土, 2000, 21(3): 46-49. (Liu Q D, Zhang J, Cheng H Y. Effect of Lanthanum on growth of three phytopathogenic fungi [J]. Chinese Rare Earths, 2000, 21(3): 46-49.)

[13] 董雪梅. 桃色顶孢霉的分离及其抑菌能力研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2013. (Dong X M. Study on separation and inhibiting ability of Acremonium pensiciinum [D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2013.)

[14] 孙明明, 韩英鹏, 赵雪, 等. 大豆菌核病鉴定方法研究进展[J]. 大豆科学, 2017, 36, 36(3): 470-474. (Sun M M, Han Y P, Zhao X. Research development of identification methods in soybean white mold [J]. Soybean Science, 2017, 36(3): 470-474.)

[15] 孙冬梅, 杨谦, 宋金柱. 钪对黄绿木霉菌拮抗大豆菌核病菌能力的影响[J]. 稀土, 2005, 26(6): 65-69. (Sun D M, Yang Q, Song J Z. Effect of Ce^{3+} on the antagonism ability of *Trichoderma aureoviride* to *Sclerotinia sclerotiorum* [J]. Chinese Rare Earths, 2005, 26(6): 65-69.)

[16] 褚海燕, 朱建国, 谢祖彬, 等. 镧对红壤转化酶、过氧化氢酶和脱氢酶活性的影响[J]. 中国环境科学, 2001, 21(1): 77-80. (Chu H Y, Zhu J G, Xie Z B, et al. Effects of rare earth element lanthanum on the activities of invertase, catalase and dehydrogenase in red soil[J]. China Environmental Science, 2001, 21(1): 77-80.)

[17] 曾青, 朱建国, 谢祖彬, 等. 镧对油菜抗病性相关酶活性的影响[J]. 中国稀土学报, 2003, 21(3): 331-333. (Zeng Q, Zhu J G, Xie Z B, et al. Effect of Lanthanum on disease resistance-related enzymes of rape[J]. Journal of the Chinese Rare Earth Society[J]. 2003, 21(3): 331-333.)

[18] 方中达. 植病研究方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998. (Fang Z D. Plant disease research methods[M]. Beijing: Agricultural Press, 1998.)

[19] 周丽, 周青, 刘苏静. 稀土农用的经济效应和环境生态效应[J]. 中国土壤与肥料, 2007(4): 22-26. (Zhou L, Zhou Q, Liu S J. The effects of economical and environmental ecology on REEs' use in agriculture[J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2007(4): 22-26.)

[20] Moriaki H, Yamamoto H. Interactions of microorganisms with rare earth ions and their utilization for separation and environmental technology [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2013, 97(1): 1-8.