

小麦内生细菌及其对根茎部主要病原真菌的抑制作用*

乔宏萍 黄丽丽 康振生**

(西北农林科技大学植物保护学院, 杨凌 712100)

【摘要】 对小麦植株不同生育期、不同器官的内生细菌进行了分离和数量变化分析。结果表明, 根、茎、叶及未成熟籽粒等器官中存在大量的内生细菌, 鲜组织中平均约含内生细菌 5.0×10^5 CFU·g⁻¹, 其中根系中内生细菌数量达 7.8×10^5 CFU·g⁻¹, 而茎秆、叶片和未成熟籽粒中内生细菌数量分别为 4.8×10^5 、 3.2×10^5 和 2.8×10^5 CFU·g⁻¹。内生细菌数量在不同生育期也存在差异, 幼苗期平均约为 3.1×10^5 CFU·g⁻¹, 拔节期和灌浆期分别为 5.7×10^5 和 7.0×10^5 CFU·g⁻¹。不同小麦田块之间存在明显差异, 长武县一田块植物鲜组织中内生细菌的数量为 6.1×10^5 CFU·g⁻¹, 而大荔县一田块约为 3.9×10^5 CFU·g⁻¹。试验结果发现, 对小麦全蚀病菌具有拮抗作用的内生细菌有 51 株、对小麦纹枯病菌具有抑制作用的内生细菌有 45 株。用平板对峙法测定, 有 71 株对两种病原真菌均有拮抗作用, 对小麦全蚀病菌抑菌圈直径大于 10 mm 的有 23 株, 其中来源于根系、茎秆、叶片和籽粒的分别为 6 株、7 株、9 株和 1 株; 对小麦纹枯病菌抑菌圈超过 10 mm 的有 20 株, 其中来源于根系、茎秆、叶片和籽粒的分别为 7 株、5 株、7 株和 1 株, 说明从小麦叶片诱捕分离的内生细菌中, 对小麦全蚀病菌和纹枯病菌抑菌作用较强的分离株比率最高, 其次为茎秆, 而根部和未成熟籽粒中比例明显较低。

关键词 抑菌圈 菌落形成单位 诱捕分离 小麦全蚀病菌 小麦纹枯病菌

文章编号 1001-9332(2006)04-0690-05 **中图分类号** S435.121;S476 **文献标识码** A

Endophytic bacteria isolated from wheat and their antifungal activities to soil-borne disease pathogens. QIAO Hongping, HUANG Lili, KANG Zhensheng (College of Plant Protection, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(4): 690~694.

In this paper, endophytic bacteria (EB) were isolated from the roots, stems, leaves and immature seeds of wheat at its different growth stages. The EB populations in fresh wheat tissues reached 5.0×10^5 CFU·g⁻¹ on average, with a significant difference among different tissues, growth stages and fields. The EB count was 7.8×10^5 in wheat roots, 4.8×10^5 in stems, 3.2×10^5 in leaves, and 2.8×10^5 CFU·g⁻¹ in immature seeds, and was estimated as 3.1×10^5 , 5.7×10^5 and 7.0×10^5 CFU·g⁻¹ at seedling, elongation and filling stages, respectively. A total of 51 antifungal EB isolates were trapped by the wheat pathogenic fungus *Gaeumannomyces graminis*, and 45 by *Rhizoctonia cerealis*. Among them, 78 isolates showed antifungal activities in vitro. A total of 23 isolates from roots (6), stems (7), leaves (9) and immature seeds (1) were highly inhibitory to the mycelial growth of *G. graminis* var. *tritici*, with the diameters of their inhibition zone exceeding 10 mm. The other twenty isolates from different plant parts were also active against *R. cerealis*. It was revealed that higher ratios of EB isolates with high antifungal activities were found in leaves, as compared with stems, roots and immature seeds.

Key words Inhibition zone, Colony forming unit, Isolation through trapping, *Gaeumannomyces graminis*, *Rhizoctonia cerealis*.

1 引言

植物内生菌是指那些在其生活史的某一阶段或全部阶段生活于健康植物的各种组织和器官内部的微生物^[1], 目前通过植物表面消毒或内部汁液中分离的方法, 已从多种植物的不同器官如种子、根、茎、叶和果实^[11~13, 15]等部位发现了内生菌。现已证明, 内生菌在寄主植物生长过程中起着非常重要的作用, 可以提供植物生长所需要的营养物质如氮源、生长激素, 也可以诱导植物产生抗病性、耐病性等^[2, 5, 16]。由于内生菌存在于植物体内, 在生物防治

方面比根围、叶围等微生物更具有应用潜力, 因此, 用内生菌来防治植物细菌病害、真菌病害和线虫病害的研究报道较多^[8, 13], 且越来越受到植物病理学家的重视。但目前有关小麦内生菌分离、应用方面的报道很少^[3, 4, 6, 9], 在国内亦为空白。因此, 本研究对小麦不同生育期、不同器官的内生菌进行了分离, 探讨了其对两种重要的小麦根茎部病害病原菌的拮抗

* 国家自然科学基金项目(30270863)、国家“十五”科技攻关项目(2001BA509B03)和西北农林科技大学创新团队资助项目。

** 通讯联系人。

2005-05-23 收稿, 2005-10-17 接受。

作用,为进一步研究小麦内生菌的应用和对小麦主要病害的生物防治作用提供理论依据。

2 材料与方法

2.1 供试材料

2.1.1 病原真菌及培养 小麦全蚀病菌 (*Gaeumannomyces graminis*) 和小麦纹枯病菌 (*Rhizoctonia cerealis*) 由西北农林科技大学植物病理研究所提供,按常规方法在 PDA 培养基上繁殖培养和保存(4℃)。

2.1.2 样品采集及处理 分别在苗期、拔节期和灌浆期从自然生长的小麦田按 5 点取样法取样,每点约取 10 株,带回实验室立即进行分离或置 4℃ 保存备用。小麦根系用自来水冲洗后展开晾干,每株取 1/4 根系剪碎,所有植株的根段样品混合后备用;茎秆剪成 3 cm 左右的小段,混合后备用;取不同叶位的叶片剪成 2 cm 的小段,混合后备用;在灌浆期取麦穗不同部位的籽粒混合后备用。将上述样品各称取 1 g 进行表面消毒(70% 酒精 60 s, 3.125% NaClO 中处理 6 min, 70% 酒精 30 s, 无菌水冲洗 3~5 次^[3])。将最后一次冲洗过的无菌水取 200 μl 涂在 PDA 平板上,用于检测表面消毒是否彻底。

2.2 研究方法

2.2.1 小麦内生菌的分离、纯化 将表面消毒后的试样在消毒研钵中加 9 ml 无菌水研磨至糊状,取原液、稀释 100 倍液和 1 000 倍液,分别摇匀后取 200 μl 涂在加有多菌灵(50 μg·ml, 25% 可湿性粉剂,浙江一帆农化厂生产)的 PDA 平板上,每个处理重复 3 皿,在 27℃ 下培养一周后,统计菌落数,然后转皿纯化、保存。

2.2.2 靶病原真菌诱捕分离拮抗内生细菌 按 2.2.1 方法加工、研磨试样,并取 200 μl 涂在中间分别接种小麦全蚀病菌和纹枯病菌(φ5 mm)的 PDA 平板上,每个处理重复 3 皿,27℃ 培养一周后,挑取对靶病菌有抑菌作用的菌株进行纯化、保存。

2.2.3 抑菌作用测定 采用平板对峙培养法,取小麦全蚀病菌和小麦纹枯病菌菌饼(φ5 mm)置 PDA 平板中央,将 PDA 平板上培养 2 d 后的供试细菌菌株用接种针点接在 PDA 平板边缘距中心 25 mm 处;供试放线菌在高氏 1 号培养基上培养一周后取菌饼(φ5 mm)置 PDA 平板边缘,每个处理重复 3 皿。27℃ 培养 3 d 后测量抑菌圈的宽度。

3 结果与分析

3.1 小麦植株内生细菌的数量动态变化

3.1.1 小麦植株不同器官内生细菌的数量 多批次的试验结果表明,小麦植株根、茎、叶及籽粒等部位中都存在大量的内生细菌,平均 1 g 鲜组织中约有内生细菌 5.0×10^5 CFU,但小麦在不同器官、不同发育期、不同地块内生细菌的数量变化很大。由图 1 可以看出,在任何生育期,根部内生细菌的数量都明

显高于茎秆、叶片和籽粒,根部内生细菌的平均数量达 7.8×10^5 CFU·g⁻¹、茎秆为 4.8×10^5 CFU·g⁻¹、叶片和籽粒中分别只有 3.2×10^5 和 2.8×10^5 CFU·g⁻¹,约为根系的 41% 和 35%。根部内生细菌在长武田块灌浆期最多,数量可达 1.25×10^6 CFU·g⁻¹,与 Zinniel 等^[19]报道的结果相一致。

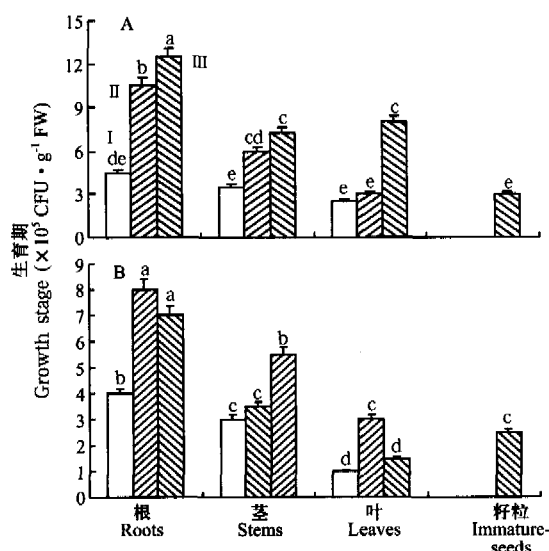


图 1 小麦植株不同生育期、不同器官的内生细菌数量变化
Fig.1 Population dynamics of endophytic bacteria from different tissues in different growth stages.
A: 长武县田块 Changwu county field; B: 大荔县田块 Dali county field. 相同字母表示差异不显著,不同字母表示有差异 Means with the same letter within a column are not significantly different ($P < 0.05$). I. 苗期 Seedling stage; II. 拔节期 Elongation stage; III. 灌浆期 Filling stage.

3.1.2 小麦不同生育期内生细菌的数量 由图 1 可见,小麦不同生育期内生细菌的数量变化很大。小麦幼苗期内生细菌的平均数量为 3.1×10^5 CFU·g⁻¹、拔节期增至 5.7×10^5 CFU·g⁻¹、灌浆期已达 7.0×10^5 CFU·g⁻¹(包括籽粒时为 5.9×10^5 CFU·g⁻¹),说明小麦灌浆期时内生细菌的数量达到最高峰。

3.1.3 不同地块小麦内生细菌的数量 受不同地块土壤肥力、性质和结构等的影响,小麦内生细菌的数量有所差异。由图 1 可以看出,内生细菌数量在长武县麦田约为 6.1×10^5 CFU·g⁻¹,而在大荔县约为 3.9×10^5 CFU·g⁻¹,为长武县麦田的 65%。从小麦不同器官来看,内生细菌在长武麦田根部的数量最多,达到 9.2×10^5 CFU·g⁻¹,而在大荔县根部的数量约是长武县根部数量的 78%;长武县麦田茎秆和叶片的内生细菌数量分别为 5.6×10^5 和 4.5×10^5 CFU·g⁻¹,而在大荔县叶片分离到的内生细菌数仅有 1.8×10^5 CFU·g⁻¹,明显低于长武县麦田叶片中的内生细菌数量。从不同生育期比较,长武县麦田内生细菌总数呈现递增趋势,灌浆期为 9.3×10^5 CFU

$\cdot g^{-1}$ (包括籽粒时为 7.7×10^5 CFU $\cdot g^{-1}$), 达到最高值, 苗期的数量最少, 为 3.5×10^5 CFU $\cdot g^{-1}$; 而大荔县麦田在拔节期分离到的数量最多, 约 4.8×10^5 CFU $\cdot g^{-1}$, 灌浆期和苗期分别为 4.1×10^5 和 2.7×10^5 CFU $\cdot g^{-1}$, 说明各田块之间内生菌的数量和变化趋势不同。

3.2 拮抗内生细菌的诱捕分离

采用常规方法分离到的小麦内生细菌数量很多, 从中筛选对靶标病原真菌具有抑制作用的菌株

时工作量较大, 因此, 本研究分别用小麦纹枯病菌和小麦全蚀病菌, 从内生细菌中诱捕分离拮抗内生细菌 (表 1)。结果表明, 诱捕到对小麦全蚀病菌具有拮抗作用的内生细菌共 51 株 (长武 31 株、大荔 20 株), 对小麦纹枯病菌有拮抗作用的内生细菌 45 株 (长武 22 株、大荔 23 株)。小麦不同生育期、不同器官中诱捕到的拮抗细菌的数量有所差异: 拔节期和灌浆期多、苗期少; 根部多、其它器官少, 与内生细菌分离时的数量变化趋势基本一致。

表 1 病原真菌诱捕分离拮抗内生细菌数量变化 (菌株)

Table 1 Numbers of antifungal endophytic bacteria trapped by pathogenic fungi (strains)

生育期 Growth stage	田块 Field	小麦全蚀病菌 <i>G. graminis</i>				小麦纹枯病菌 <i>R. cerealis</i>			
		根 Roots	茎 Stems	叶 Leaves	籽粒 Immature seeds	根 Roots	茎 Stems	叶 Leaves	籽粒 Immature seeds
苗期 Seedling stage	A	2	1	1		1	2	0	
	B	1	1	0		1	2	1	
拔节期 Elongation stage	A	4	5	2	3	3	4	4	1
	B	6	1	0		3	2	5	
灌浆期 Filling stage	A	7	4	2		4	1	2	
	B	5	3	1	2	4	0	3	2

A: 长武县 Changwu county; B: 大荔县 Dali county.

表 2 不同内生细菌菌株对小麦全蚀病菌 (I) 和纹枯病菌 (II) 菌落生长的抑菌作用

Table 2 Inhibition of colony growth of *G. graminis* (I) and *R. cerealis* (II) with endophytic bacteria isolated from wheat (mean \pm SE)

菌株 Isolates	抑菌圈 Inhibition zone (mm)	菌株 Isolates	抑菌圈 Inhibition zone (mm)	菌株 Isolates	抑菌圈 Inhibition zone (mm)	菌株 Isolates	抑菌圈 Inhibition zone (mm)	
I	EC15-l	15.0 \pm 0.1a	CW16-r	10.5 \pm 0.1	EDS7-s	7.5 \pm 0.1	EDR16-r	5.5 \pm 0.2
	EM5-s	14.5 \pm 0.1	EC9-r	10.5 \pm 0.2	EDR1-r	7.5 \pm 0.0	EDR18-r	5.5 \pm 0.2
	EC10-s	14.5 \pm 0.1	EM6-l	10.5 \pm 0.3	E2L-l-l	7.5 \pm 0.3	B2-s	5.2 \pm 0.0
	E3R-N-r	14.2 \pm 0.3	B4-l	10.0 \pm 0.1	EC8-r	7.2 \pm 0.2	CW13-r	5.0 \pm 0.3
	EM7-l	14.0 \pm 0.1	EM1-r	9.5 \pm 0.2	N2L-l-l	7.0 \pm 0.2	EDS10-s	5.0 \pm 0.4
	ECL5-l	13.9 \pm 0.1	EM4-r	9.5 \pm 0.2	E2R-C-r	6.7 \pm 0.1	EDR19-r	4.3 \pm 0.3
	EC16-l	13.5 \pm 0.1	EDS22-s	9.1 \pm 0.1	EDR4-r	6.7 \pm 0.2	EM3-r	4.7 \pm 0.2
	EC12-s	13.0 \pm 0.2	EDR17-r	9.1 \pm 0.2	EDR2-r	6.6 \pm 0.1	EDR11-r	4.2 \pm 0.1
	EC13-l	12.5 \pm 0.1	DB3-s	9.1 \pm 0.1	EM2-r	6.6 \pm 0.2	ECS7-s	3.5 \pm 0.2
	EC14-s	12.5 \pm 0.2	EDR13-r	9.0 \pm 0.2	EDF5-f	6.5 \pm 0.2	E3L-G-l	3.3 \pm 0.0
	ECL1-l	12.5 \pm 0.1	E2L-K-l	9.0 \pm 0.1	EC6-l	6.4 \pm 0.2	DB1-r	3.2 \pm 0.1
	EC7-r	12.5 \pm 0.1	EDF12-f	9.0 \pm 0.1	EDF6-f	6.3 \pm 0.3	DB4-l	3.0 \pm 0.1
	ECS3-s	12.5 \pm 0.3	E1R-H-r	8.6 \pm 0.1	B3-r	6.2 \pm 0.2	EDR15-r	2.5 \pm 0.1
	ECF4-f	12.0 \pm 0.1	EDS24-s	8.5 \pm 0.2	CW9-r	6.1 \pm 0.4	E3L-E-l	2.3 \pm 0.1
	ECS2-s	11.5 \pm 0.3	EDS21-s	8.5 \pm 0.1	EDR14-r	6.0 \pm 0.3	E3L-O-l	2.0 \pm 0.1
	CW15-r	11.3 \pm 0.1	EDF20-f	8.3 \pm 0.3	CW14-r	6.0 \pm 0.4	E1R-J-r	1.7 \pm 0.2
	CW10-l	11.3 \pm 0.2	ECF8-f	7.8 \pm 0.1	CW11-s	6.0 \pm 0.4	E3S-F-s	1.3 \pm 0.2
	EC11-r	11.2 \pm 0.1	EDL3-l	7.6 \pm 0.2	E1R-M-r	5.7 \pm 0.3		
	EDS8-s	11.0 \pm 0.1	EDR15-r	7.5 \pm 0.1	EDS23-s	5.6 \pm 0.2		
II	EM3-r	15.5 \pm 0.1	DB4-l	10.0 \pm 0.3	ECS7-s	7.5 \pm 0.1	E3L-G-l	5.9 \pm 0.2
	ECS2-s	15.5 \pm 0.2	EDS22-s	9.5 \pm 0.2	EC13-l	7.4 \pm 0.1	EC15-l	5.8 \pm 0.0
	E2R-C-r	15.0 \pm 0.4	EM4-r	9.4 \pm 0.3	EDR19-r	7.3 \pm 0.2	EDS10-s	5.5 \pm 0.1
	ECL1-l	14.7 \pm 0.3	EM1-r	9.3 \pm 0.4	EDR11-r	7.3 \pm 0.2	CW9-r	5.3 \pm 0.1
	E3R-N-r	14.5 \pm 0.3	B4-l	9.2 \pm 0.0	N2LZ-l-l	7.0 \pm 0.4	E3L-D-l	5.0 \pm 0.1
	EM2-r	13.3 \pm 0.4	EC7-r	9.1 \pm 0.3	B3-r	7.0 \pm 0.3	E3S-F-s	4.9 \pm 0.2
	EM7-l	13.1 \pm 0.2	EC11-r	9.0 \pm 0.1	EDS23-s	6.7 \pm 0.1	EDR2-r	4.8 \pm 0.1
	E1R-H-r	12.5 \pm 0.3	EM6-l	9.0 \pm 0.3	EC14-s	6.7 \pm 0.1	E2L-K-l	4.1 \pm 0.1
	ECL5-l	11.8 \pm 0.2	CW16-r	8.8 \pm 0.2	EDR15-r	6.7 \pm 0.2	EDR1-r	4.1 \pm 0.1
	DB3-s	11.6 \pm 0.3	EM5-s	8.7 \pm 0.2	EC10-s	6.6 \pm 0.2	EDS21-s	4.1 \pm 0.1
	EC16-l	11.4 \pm 0.4	EDF12-f	8.7 \pm 0.3	EDF6-f	6.5 \pm 0.2	E2L-l-l	3.9 \pm 0.1
	E1R-M-r	11.4 \pm 0.3	EDR13-r	8.6 \pm 0.2	EDF5-f	6.5 \pm 0.2	ECF8-f	3.5 \pm 0.0
	EDS24-s	11.3 \pm 0.1	EDR17-r	8.3 \pm 0.1	EDR18-r	6.3 \pm 0.0	CW15-r	3.1 \pm 0.2
	CW10-l	11.0 \pm 0.1	E3L-O-l	8.2 \pm 0.2	EC4-l	6.3 \pm 0.1	E1R-J-r	2.9 \pm 0.1
	EC12-s	10.7 \pm 0.3	EDR16-r	8.0 \pm 0.3	EDR4-r	6.3 \pm 0.2	EDL3-l	2.8 \pm 0.1
	ECS3-s	10.5 \pm 0.1	EC6-l	7.8 \pm 0.1	EDS7-s	6.2 \pm 0.4	CW11-s	1.7 \pm 0.1
	ECF4-f	10.4 \pm 0.2	CW14-r	7.8 \pm 0.0	B2-s	6.0 \pm 0.3		
	B1-l	10.2 \pm 0.0	EDF20-f	7.8 \pm 0.2	EDR14-r	6.0 \pm 0.2		
	CW13-r	10.0 \pm 0.4	EC8-r	7.5 \pm 0.3	EDS8-s	6.0 \pm 0.3		

r: 根部分离 Isolated from roots; s: 茎部分离 Isolated from stems; l: 叶部分离 Isolated from leaves; f: 籽粒分离 Isolated from immature seeds.

3.3 内生细菌对病原真菌菌落生长的抑制作用

用平板对峙法检测了 78 株诱捕的内生细菌对小麦全蚀病菌和小麦纹枯病菌的拮抗作用,结果表明(表 2),这些内生细菌菌株对两种病原真菌的菌落生长均有不同程度的抑制作用,其中有 71 株对两种病原真菌都有拮抗作用,有 3—4 株分别只对小麦全蚀病菌和小麦纹枯病菌有抑菌作用,来源于根系的 E3R-N-r、茎秆的 ECS2-s 和叶片的 ECL-5-l 等 9 株内生细菌对供试的两种病原真菌的抑菌圈都超过 10 mm.

对小麦全蚀病菌具有拮抗作用的 74 株内生细菌菌株中,有 32 株来源于小麦根系,占总数的 43%,其次为茎秆和叶片,分别为 18 株,各占总数的 24%,7 株来源于籽粒(表 2).对小麦全蚀病菌抑菌圈直径大于 10 mm 的拮抗菌有 23 株,占总试验菌株的 30%.其中 6 株来源于根系,占根部总菌株的 18.8%;7 株来源于茎秆,占茎秆总菌株的 38.9%;9 株来源于叶片,占叶片总菌株的 50.0%;1 株来源于未成熟籽粒,占总菌株的 14.3%.这一结果说明,在小麦叶片诱捕分离的内生细菌中,50%的分离株对小麦全蚀病菌抑菌作用强,其次为茎秆,而根部和未成熟籽粒中比例明显较低,特别是来源于叶片的 EC15-l 分离株,其对小麦全蚀病菌的抑菌圈可达 15 mm.

对小麦纹枯病菌具有抑制作用的 76 株菌株中,来源于根系的有 29 株,约占总数的 38%,茎秆和叶片分别是 18 株和 19 株,籽粒为 6 株,其中来源于根部的菌株 EM3-r 和茎秆的 ECS2-s 的抑菌圈可以达到 15.5 mm.对小麦纹枯菌的抑菌圈大于 10 mm 的有 20 个菌株,占总试验菌株的 26%,其中来源于根系的有 7 株,占根部总菌株的 24.1%,茎秆 5 株,占茎秆总菌株的 27.8%,叶片 7 株,占叶片总菌株的 36.8%,籽粒的 1 株,占总菌株的 16.7%,说明在小麦叶片中诱捕分离的内生细菌,对小麦纹枯病菌抑制作用强的菌株比例较高.

4 讨 论

从健康植物组织中分离内生细菌的方法很多,其关键在于植物表面完全消毒,从而保证所分离的内生菌都来源于植物组织内部.目前采用的消毒方法一般都是常规的次氯酸钠和升汞消毒.为了保证消毒的彻底,宋子红等^[15]将最后一次冲洗过植物组织的无菌水涂平板,若无细菌则证明分离到的细菌是内生菌,本试验采用这种方法.由于内生菌在植物

体内分布不均匀,而且寄生程度也不同,所以培养基的种类、成分、pH 以及培养的温度、时间等都会影响其分离效果.因此,在本研究基础上,已选择另外几种培养基分离到了几十株小麦内生放线菌进行进一步的研究.

本研究结果表明,小麦的根、茎、叶以及籽粒中都存在大量的内生细菌,而且在不同器官、不同生育期、不同地块都存在显著的差异.从总体上看,根部的内生细菌多于其它部位,可能与大部分内生菌来源于根围土壤有关^[19].内生细菌大量存在于细胞间隙和维管束中,而在细胞内很少^[21],所以内生细菌可以随着植物营养水分的运输从根部向不同部位传导.另外,在未成熟籽粒中也分离到内生细菌.它能否将来在种子中存活,以及通过种子传递给后代?将有待于进一步研究.

在诱捕分离得到内生细菌后,用平板对峙法测定了其对小麦纹枯病菌和全蚀病菌菌落生长的抑制作用,其中抑菌圈直径大于 10 mm 的菌株比例很高,这些菌株的数量在不同器官之间差异很大,小麦叶片中存在的对小麦纹枯病菌和全蚀病菌抑制作用强的内生细菌菌株比率明显高于其它器官.因此,从中可能得到更具有应用价值的生防菌.作为植物微生态系统的主要成员,内生菌比植物外源的微生物更具有竞争力.它的生境特殊性决定了其有多方面的应用潜力,是个尚待开发的微生物新资源.从植物的内生细菌代谢产物中寻找新型活性物质,将是其研究的主流.另外,将其作为外源基因载体用于生物防治则是现代生物技术在植物内生细菌应用方面开辟的又一个新领域^[7,10,17,18].因此,我们对筛选出的具有抑菌作用的内生细菌,将进一步测定其田间防病效果和对寄主植物生长发育的影响,并在田间试验的基础上,对重要小麦内生细菌的种类进行鉴定.同时,深入研究抑菌防病机制,揭示其抑菌的生理生化和分子机理,为将小麦内生细菌更好地应用于生产奠定理论和物质基础.

参考文献

- 1 Carroll GC. 1986. The biology of endophytism in plants with particular reference to woody perennials. In: Fokkema NJ, van den Heuvel J, eds. *Microbiology of Phyllosphere*. London: Cambridge University Press. 205 ~ 222
- 2 Chanway CP. 1996. Endophytes: They're not just fungi. *Can J Bot*, **74**: 321 ~ 322
- 3 Coombs JT, Franco CMM. 2003. Isolation and identification of actinobacteria from surface-sterilized wheat roots. *Appl Environ Microbiol*, **69**(9): 5603 ~ 5608
- 4 Coombs JT, Franco CMM. 2003. Visualization of an endophytic streptomycetes species in wheat seed. *Appl Environ Microbiol*, **69**

- (7):4260~4262
- 5 Dong Z, Canny MJ, McCully ME, *et al.* 1994. A nitrogen-fixing endophyte of sugarcane stems. *Plant Physiol*, **105**:1139~1147
 - 6 Germuda JJ. 1998. Differences in the microbial communities associated with the roots of different cultivars of canola and wheat. *Can J Microbiol*, **44**:844~851
 - 7 Kong Q-K(孔庆科), Ding A-Y(丁爱云). 2001. Advances of study on endophytic bacteria as biological control agents. *J Shandong Agric Univ* (山东农业大学学报), **32**(2):256~260(in Chinese)
 - 8 Long HH, Furuya N, Kurose D, *et al.* 2003. Isolation of endophytic bacteria from *Solanum* sp. and their antibacterial activity against plant pathogenic bacteria. *J Faculty Agric Kyushu Univ*, **48**:21~28
 - 9 Lupwayi NZ, Clayton GW, Hanson KG, *et al.* 2004. Populations and functional diversity of bacteria associated with barley, wheat and canola roots. *Can J Soil Sci*, **84**:245~254
 - 10 Mengoni A, Mocali S, Surico G, *et al.* 2003. Fluctuation of endophytic bacteria and phytoplasmosis in elm trees. *Microbiol Res*, **158**:363~369
 - 11 Mundt JO, Hinkle NF. 1976. Bacteria within ovules and seeds. *Appl Environ Microbiol*, **32**:694~698
 - 12 Philipson MN, Blair ID. 1957. Bacteria in clover root tissue. *Can J Microbiol*, **3**:125~129
 - 13 Rangeshwaran R, Wasnikar AR, Prasad RD, *et al.* 2002. Isolation of endophytic bacteria for biological control of wilt pathogens. *J Biol Control*, **16**:125~134
 - 14 Samish Z, Dimant D. 1959. Bacterial population in fresh, healthy cucumbers. *Food Manuf*, **34**:17~20
 - 15 Song Z-H(宋子红), Ding L-X(丁立孝), Ma B-J(马伯军), *et al.* 1999. Studies on population and dynamic analysis of peanut endophytes. *J Plant Prot* (植物保护学报), **26**(4):309~314(in Chinese)
 - 16 Sturz AV, Matheson BG. 1996. Populations of endophytic bacteria which influence host-resistance to *Erwinia*-induced bacterial soft rot in potato tubers. *Plant Soil*, **184**:265~271
 - 17 Wen C-Y(文才艺), Wu Y-H(吴元华), Tian X-L(田秀玲). 2004. Recent advances and issues on the endophyte. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **23**(2):86~91(in Chinese)
 - 18 Yan M-H(闫孟红), Cai Z-Q(蔡正求), Han J-G(韩继刚), *et al.* 2004. The applied research of endophytic bacteria in biological control of plant disease. *Biotechnol Bull* (生物技术通报), (3):8~12 (in Chinese)
 - 19 Zinniel DK, Lambrecht P, Harris NB, *et al.* 2002. Isolation and characterization of endophytic colonizing bacteria from agronomic crops and prairie plants. *Appl Environ Microbiol*, **68**:2198~2208

作者简介 乔宏萍,女,1978年出生,博士研究生.主要从事植物病害生物防治研究,发表论文6篇. E-mail: xiaoqiao2001@hotmail.com

责任编辑 肖红

欢迎订阅 2006 年《生态学杂志》

《生态学杂志》(1982年创刊)是由中国生态学学会主办、中国科学院沈阳应用生态研究所承办、科学出版社出版的学术期刊,是全国中文核心期刊,2002年入选中国期刊方阵.读者对象为从事生态学、生物学、地学、农林牧渔、海洋、气象、环保、经济、卫生和城建部门的科研、教学、科技工作者、有关决策部门的科技管理人员和大专院校师生.

本刊主要刊登具有创新性的生态学研究论文以及有关专题的综述和评论,研究方法和新技术的应用,学术讨论与争鸣;国外生态学研究(包括译文,但必须取得原著作者的授权);国内外学术消息和动态;生态学知识讲座和生态学新书刊介绍等.

《生态学杂志》为A4开本,月刊,112页,每册定价40元,全年480元.国内外公开发行.国内邮发代号:8-161,全国各地邮局均可订阅.如未能在当地邮局订到,可与编辑部直接联系订阅.

地址:沈阳市文化路72号中国科学院沈阳应用生态研究所转《生态学杂志》编辑部

邮编:110016

电话:024-83970394

传真:024-83970394 E-mail: cje@iae.ac.cn