



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0029213
(43) 공개일자 2013년03월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C12N 1/15 (2006.01) C12P 21/00 (2006.01)
C12R 1/77 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0092470
(22) 출원일자 2011년09월14일
심사청구일자 2011년09월14일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가 1
(72) 발명자
윤철원
서울특별시 노원구 월계동 롯데캐슬아파트
105-1002
김지현
서울특별시 광진구 천호대로109길 52-9, 1층 (중곡동)
김정결
인천광역시 부평구 십정동 주공아파트 112동 302호
(74) 대리인
김선애

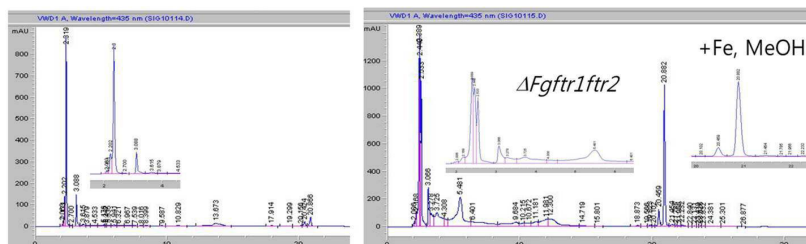
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 미생물로부터 시테로포아를 대량으로 생산하는 방법

(57) 요약

본 발명은 *ftr1* 및 *ftr2* 유전자가 결손된 시테로포아 생산 미생물의 변이체를 배지에서 배양하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 미생물로부터 시테로포아를 생산하는 방법에 관한 것이다. 상기 본 발명에 의하면 변이체는 야생주에 비해 13 ~ 23 배로 대량 생산할 수 있고, 이렇게 대량 생산된 시테로포아는 식물의 성장 촉진 및 중금속으로 오염된 토양 등을 친환경적으로 정화하는 데 유용하게 이용될 수 있다.

대표도 - 도5



Specis	Condition	Area	ratio
<i>F. graminearum</i>	+Fe, MeOH	557.4	1.00
$\Delta Fgfr1ftr2$	+Fe, MeOH	7578.9	13.60

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	G11117003003200000000000000
부처명	한국환경산업기술원
연구사업명	토양지하수오염방지기술개발사업
연구과제명	시데로포아(Siderophore)의 대량생산을 통한 토양 및 지하수의 친환경 중금속 제거기술 개
발	
주관기관	고려대학교 산학협력단
연구기간	2011.03.01 ~ 2012.02.28

특허청구의 범위

청구항 1

ftr1 및 *ftr2* 유전자가 결손된 시데로포아 생산 미생물의 변이체를 배지에서 배양하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 미생물로부터 시데로포아를 생산하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 미생물은 푸자리움 그라미니아룸(*Fusarium graminearum*)이 속하는 사상성 균류 그룹에서 선택되는 하나인 것을 특징으로 하는 미생물로부터 시데로포아를 생산하는 방법.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 미생물의 변이체를 배양하는 단계는 철이 부족한 배지에서 배양하는 것을 특징으로 하는 미생물로부터 시데로포아를 생산하는 방법.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 배지는 철이 없는 배지인 것을 특징으로 하는 미생물로부터 시데로포아를 생산하는 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 미생물로부터 시데로포아(siderophore)를 대량으로 생산하는 방법에 관한 것이다. 더욱 상세하게는 철 대사 과정에서 관여하는 유전자 중 *ftr1* 및 *ftr2* 유전자를 결손시키고 배양 조건을 조절하여 미생물로부터 시데로포아를 대량으로 생산하는 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 철은 생물체의 필수 영양분으로서 생체내의 다양한 대사과정에 관여한다. 인간과 같은 고등생물체에서는 주로 철은 단순한 형태로 흡수되어 생체 내 다양한 부위에 전해진다. 그러나 미생물의 경우 철이 부족한 환경에서 살아야 하는 이유로 조금 다른 형태의 철 흡수 기작을 지니고 있으며 시데로포아를 이용하여 철의 흡수를 활성화시키는 독특한 기작으로 알려져 있다.

[0003] 시데로포아는 수용성인 저분자의 철이온-특이 결합(ferric iron-chelating) 화합물이며 일반적으로 펩타이드 사슬로 연결된 황록색의 형광 크로모포어(fluorescent chromophore)이다. 이는 펩타이드 사슬의 구성과 크기에 따라 크게 2가지의 구조학적인 형태로 나누어지는데, 카테콜(catechol; o-dihydroxybenzene)의 유도체 카테콜 아마이드(cathechol amides; phenolates, catecholates) 형태와 하이드록사민산(hydroxamic acid; RCONHO의 유도체로 하이드록사메이트(hydroxamates) 형태가 있다. 카테콜 형태의 시데로포아는 엔테로틴(enterobactin), 파라박틴(parabactin), 아크로박틴(acrobactin), 안구이박틴(anguibactin), 비브리오박틴(vibriobactin), 아조토박틴(azotobactin) 등이 있으며, 하이드록사메이트 형태의 시데로포아는 페리크롬(ferrichrom), 페리옥사민(ferrioxamine), 코프로젠(coprogen), 노카다민(nocardamine) 등이 있다. 또한, 최근에 시트레이트-하이드록사메이트(citrate-hydroxamate) 형태의 시데로포아는 아쓰로박틴(arthrobactin), 아에로박틴(aerobactin), 시조키넨(schizokinen) 등이, 그리고 퀴놀린(quinoline) 형태의 시데로포아로 슈더-박틴(pseudo-bactin), 이나표베르틴(pyoverdin) 등이 밝혀져 있다.

[0004] 상기과 같이 시데로포아는 미생물이 생산하는 소분자 물질로서 주로 철과 결합하는 기능을 지니고 있으며 이러한 복합체 형태로 미생물에 의해 흡수된다. 그러나 최근에는 시데로포아의 다른 기능이 알려지기 시작하면서 그 용도가 다양해 지고 있다. 특히 미생물의 생육에 도움이 되는 이유로 식물과 미생물의 상호작용을 활성화함으로써 식물생장의 도움을 준다는 보고가 있다. 2004년 녹두의 실험을 보면 근류에 존재하는 미생물 중 시데로포아를 대량 생산하는 균주의 경우 뿌리 성장을 대조군에 비해 30% 이상 증가시키는 것으로 확인되었다(Plant. Growth. Regulation 2004). 또한, 토양에 존재하는 식물의 성장을 촉진하는 균주의 시데로포아의 생산능력은 토

양의 식물병원성 균주와의 경쟁에서 우월한 위치를 확보하는데 도움을 준다는 보고도 있다(J. Bac 1988). 슈도모나스의 경우 식물 성장 촉진 세균(plant growth-promoting bacteria)으로서 시데로포아의 생산 여부가 미생물의 활성을 결정한다고 알려져 있다(Nature 1980).

[0005] 한편, 최근에는 시데로포아가 친환경적으로 중금속 오염을 방제하는 기술로 개발이 진행되고 있다.

[0006] 상기와 같이 시데로포아는 식물의 성장 등에 도움을 주는 물질이지만 실제 사용이 제한되어 왔다. 시데로포아의 화학적 합성이 불가능하고 미생물로부터 생산하고 있는데 생산방법이 정립되어 있지 못하고 생산량 또는 제한되어 있기 때문이다. 또한, 미생물에 의한 생산의 경우 재현성이 낮고 각각의 시데로포아를 분리하는 것이 매우 어렵다.

[0007] 본 발명의 배경이 되는 기술로서 대한민국 특허공보 제10-0850373호(2008.07.29)에 개시된 바와 같이 세라티아(*Serratia*) 속 미생물, 이의 동정 방법 및 이를 이용한 식물 성장 촉진 및 토양 정화 방법이 공개되어 있으나, 시데로포아의 대량 생산에 대해서는 언급되어 있지 않다.

[0008] 또한, 본 발명의 배경이 되는 기술로서 박용성 외, Current genetics Volume 52, Numbers 3-4 187-190 ISSN 1432-0983에 *Saccharomyces cerevisiae* mutant를 이용하여 푸자리움 그라미니아룸(*Fusarium graminearum*)에 의해 생산된 시데로포아를 효율적으로 분리 및 동정하는 방법이 개시되어 있으나, 시데로포아의 대량 생산에 대해서는 기재되어 있지 않다.

[0009] 따라서, 상술한 바와 같이, 시데로포아는 화학적 합성이 불가능하고 미생물에 의한 생산이 제한적이라는 것이 현재 문제점으로 남아 있다. 이에 본 발명자들은 시데로포아의 대량생산을 목표로 연구를 수행하여 본 발명을 완성하였다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 대한민국 특허공보 제10-0850373호(2008.07.29)

비특허문헌

[0011] (비특허문헌 0001) PARK et al., New and efficient method using *Saccharomyces cerevisiae* mutants for identification of siderophores produced by microorganisms, Current genetics Volume 52, Numbers 3-4 187-190 ISSN 1432-0983

(비특허문헌 0002) PARK et al., Physical and functional interaction of FgFtr1-FgFet1 and FgFtr2-FgFet2 is required for iron uptake in *Fusarium graminearum*, Biochem. J. (2007) 408, 97-104

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명은 상기와 같은 종래기술의 문제점 및 요구를 해결하고자 하는 것으로, 그 목적은 철 대사 관여 유전자의 변이체 미생물로부터 시데로포아를 대량 생산하는 방법을 제공하고자 하는 것이다.

[0013] 본 발명의 다른 목적은 배양조건을 조절하여 상기 미생물을 이용하여 시데로포아를 대량 생산하는 방법을 제공하고자 하는 것이다.

[0014] 본 발명의 다른 목적 및 이점은 하기의 발명의 상세한 설명, 청구범위 및 도면에 의해 더욱 명확하게 된다.

과제의 해결 수단

- [0015] 상기 목적을 달성하기 위해, 본 발명은 *ftr1* 및 *ftr2* 유전자가 결손된 시테로포아 생산 미생물의 변이체를 배지에서 배양하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 미생물로부터 시테로포아를 생산하는 방법을 제공한다.
- [0016] 본 발명에서 미생물은 *ftr1* 및 *ftr2* 유전자를 결손시키기 위한 미생물은 예를 들어 푸자리움 그라미니아룸(*Fusarium graminearum*)이 속하는 사상성 균류에서 선택되는 하나를 이용할 수 있으며, 예를 들어 아스페질러스(*Aspergillus*), 푸자리움(*Fusarium*) 속 균류 등을 포함할 수 있으며, 바람직하게는 푸자리움 그라미니아룸(*Fusarium graminearum*)을 이용할 수 있다.
- [0017] 본 발명에서 *ftr1* 및 *ftr2* 유전자는 철 대사 과정에서 관여하는 유전자로 철 투과효소(iron permease)를 코딩하며, Ftr1/Fet1 및 Ftr2/Fet2의 방식으로 염색체상에 위치해 있는 것으로 알려져 있다(도 1 참조, PARK et al., Biochem. J. (2007) 408, 97-104).
- [0018] 본 발명의 미생물 염색체상에서 *ftr1* 및 *ftr2* 유전자를 결손시키는 방법으로는 당업계에 알려진 통상적인 유전자결손 방법, 예를 들면, 화학물질이나 자외선과 같은 빛을 이용하거나, 상동재조합 기술을 통한 유전자 재조합 기술을 이용하여 *ftr1* 및 *ftr2* 유전자 부위가 변이되어 결실된 돌연변이체를 얻을 수 있고, 유전자 팝-아웃기술을 이용할 수 있다. 본 발명의 구체적 실시예에서는 *ftr1* 및 *ftr2* 유전자가 결손된 푸자리움 그라미니아룸(*Fusarium graminearum*) 변이체를 제조하였다(도 2a 및 도 2b 참조). *ftr1* 및 *ftr2* 유전자를 결손시키면 시테로포아의 생산량이 야생형에 비해 급격히 증가하였다(도 4 및 도 5 참조).
- [0019] 본 발명에 의한 미생물 변이체는 철이 없는 배지에서 배양할 때 시테로포아 생산성이 철이 있는 배지에서 보다 매우 급격히 증가하였다(표 1 참조).
- [0020] 본 발명에 의한 미생물 변이체는 철이 없는 배지에서 배양할 때 시테로포아 생산성이 같은 균주가 아닌 사상성 균류 중에서 가장 많이 증가하였다(표 2 참조).
- [0021] 또한, 본 발명에 의한 변이체는 철이 있는 배지에서도 야생주보다 시테로포아 생산성이 증가하였다(도 5 참조).
- [0022] 본 발명에 의한 미생물로부터 시테로포아를 생산하는 방법은 상기 미생물 변이체가 생산하는 시테로포아를 HPLC를 이용하여 분리 및 정제하는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0023] 상술한 바와 같이, 본 발명에 의하면 $\Delta Fgftr1, ftr2$ 변이체를 이용하고 배양조건을 조절하여 시테로포아를 야생주에 비해 대략 13 ~ 23 배로 대량으로 생산할 수 있다. 이렇게 대량 생산된 시테로포아는 식물의 생장 촉진 및 중금속으로 오염된 토양 등을 친환경적으로 정화하는 데 유용하게 이용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1은 푸자리움 그라미니아룸(*Fusarium graminearum*)의 염색체상의 *Fgftr1/2*의 위치를 나타내는 도면이다.
- 도 2a 및 도 2b는 본 발명에 의한 *Fgftr1, ftr2* 푸자리움 그라미니아룸(*Fusarium graminearum*) 변이체의 제조에 관한 모식도 및 상기 유전자 결손을 서던 분석으로 확인한 결과를 나타낸다.
- 도 3은 본 발명에 의한 시테로포아를 정제 분리하기 위한 HPLC 조건을 개략적으로 나타낸 도면이다.
- 도 4는 본 발명에 따라 Hydrospere C18 column을 이용한 HPLC한 결과를 나타내는 도면이다.
- 도 5는 본 발명에 의한 $\Delta Fgftr1, ftr2$ 푸자리움 그라미니아룸(*Fusarium graminearum*) 변이체의 시테로포아 생산량을 야생주와 비교한 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 6은 본 발명에 의해 생산된 시테로포아 종류를 예시적으로 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 실시예를 통하여 본 발명을 더욱 상세하게 설명하고자 한다. 이들 실시예는 오로지 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 요지에 따라 본 발명의 범위가 이들 실시예

에 의해 제한되지 않는다는 것은 당업계에서 통상의 지식을 가진 자에 있어서 자명할 것이다.

[0026] 실시예 1. 실험 균주 및 변이체 제작

[0027] 1) 계통(Strains)

[0028] 실험 균주(Tested strains)로 아래 19 개를 이용하였다 :

[0029] *Fusarium graminearum* (WT), $\Delta Fgsit1$, $\Delta Fgsit2$, $\Delta Fgend1$, $\Delta Fgftr1ftr2$, $\Delta Fgsit1ftr1$, *Aspergillus niger*, *Trichoderma longibrachiatum*, *Trichoderma atroviride*, *Polyporus brumalis*, *Trametes versicolor*, *Pharero chrysosporium*, *Irpex lacteus*, *Phanerochaete sordida* (장송), *Gloeophyllum trabeum*, *Phanerochaete sordida* (백합), *Fomitopsis palustris*, *Rhizopus oryzae*, *Mucor circinelloides*

[0030] 그 중 시데로포아 생산성이 확보되어 선발된 균주(Selected strains) 2 개는 $\Delta Fgftr1ftr2$ (*Fusarium graminearum*) 및 *Fomitopsis palustris*였다.

[0031] 2) $\Delta Fgftr1, ftr2$ 푸자리움 그라미니아룸(*Fusarium graminearum*) 변이체 제작

[0032] PCR을 이용하여 FgFtr 유전자 (Fg05160.1, Fg02143.1)의 5' 유전자 앞쪽의 1500bp와 3' 유전자 뒤쪽의 1500bp를 Hygromycin B 유전자 또는 Geneticin 유전자의 앞쪽 뒤쪽에 double-joint PCR 방법을 이용하여 재조합된 유전자 카세트를 만들었다(도 2a). 야생주에 각 재조합된 유전자 카세트를 넣어 형질 전환체를 Hygromycin B 또는 Geneticin으로 선별하여 FgFtrs 유전자가 결손된 형질 전환체를 서던 분석을 통하여 확인하였다(도 2b)(PARK et al., Functional identification of high-affinity iron permeases from *Fusarium graminearum*, Fungal Genetics and Biology (2006) 43, 273-282).

[0033] 실시예 2. 실험 균주들의 배양

[0034] 우선 실험균주들은 PDA (Potato dextrose agar; Bifco PD broth 24 g, Agar 20 g/ liter) plate (90x15mm petri Dish)에 곰팡이(Fungi)를 상온(25 °C)에서 5일간 키웠다.

[0035] 다음, CMC (Carboxymethyl cellulose 1.5 g, Yeast extract 1 g, Magnesium sulfate 7H₂O 0.5 g, Ammonium nitrate 1 g, Potassium phosphate 1 g / liter) broth 40ml에 4 cm² 정도의 양의 균사(hyphae)를 넣고 상온(25 °C)에서 3일간 키웠다.

[0036] 상기 CMC broth 배지에서 자란 균사(hyphae)를 여과지(filter paper, 125 mm)로 걸러 철이 없는 배지(Low iron broth; Sodium nitrate 6 g, Potassium chloride 0.52 g, Magnesium sulfate 7H₂O 0.52 g, Potassium dihydrogen phosphate 1.52 g, Glucose 10 g, 100 mM BPS 1 ml / liter, pH 6.5) 또는 철이 있는 배지 (Iron broth; Sodium nitrate 6 g, Potassium chloride 0.52 g, Magnesium sulfate 7H₂O 0.52 g, Potassium dihydrogen phosphate 1.52 g, Glucose 10 g, 1.5 M Ferric chloride 1 ml / liter, pH 6.5) 2 liter로 플라스틱 플라스크(plastic flask)에 상온(25 °C)에서 일주일 간 키웠다.

[0037] 실시예 3. 시데로포아 복합체(Siderophore mixture) 정제 및 분리

[0038] 1) 컬럼을 통한 시데로포아 복합체의 정제

[0039] 실시예 2에서 제조된 샘플을 거르로 한번 걸러준 후 곰팡이를 제거한 배지를 0.45 μm 여과지에 펌프를 이용하여 곰팡이의 작은 포자(spore)까지 제거하였다.

[0040] 다음, Amberlite XAD16 resin(Sigma) 20 g을 컬럼에 채우고 50mM Potassium phosphate buffer (pH 7.5) 200ml로 세척(washing)하여 충분히 평형화(equilibration) 시킨 후 곰팡이를 제거한 위의 샘플을 레진(resin)에 통과시켜 흘려보냈다.

[0041] 붉게 변한 레진(resin)에 50mM Potassium phosphate buffer (pH 7.5) 50 ml로 세척(washing)하고 Methanol

(HPLC grade) 20ml을 흘려 컬럼에서 나오는 용액을 용리(elution) 하였다.

이 단계에서 시테로포아 복합체(Siderophore mixture)는 culture volume의 1/1000 H₂O로 용리(elution)한 후 사용, 4 °C에서 보관하였다.

2) HPLC를 통한 시테로포아 분리 정제

상기 용리(elution) 용액을 진공농축기(Vacuum concentrator)에 100mm/hg, 20 °C로 메탄올(methanol)을 날려 농축시켰다. 상기 농축된 시테로포아 복합체(siderophore mixture)를 메탄올 (HPLC grade) 500 μ l로 녹인 후 원심분리 (12000 rpm, 4 °C, 1 min)하여 녹지 않은 찌꺼기를 제거한 후 상층액을 옮겨주었다. 상기 옮긴 상층액을 0.22 μ m Nylon membrane syringe filter로 걸렀다.

이와 같이 준비된 시테로포아 복합체(Siderophore mixture, 4 °C 보관) 중 100 μ l를 HPLC (High Performance Liquid Chromatography)로 분리하여 정제하였다 (Agilent Eclipse XDB-C18 column).

1차 분획(fraction)은 다음과 같은 조건으로 실시하였다.

Solvent 조건: Water 90 % (w/ 0.1 % TFA): Acetonitrile 10 %(w/ 0.1 % TFA) (TFA: Trifluoroacetic acid)

Detection & gradient 조건 : Absorbance at 435 nm (Sample volume: 100 μ l) (도 3 참조)

0 min - 10 %,

15 min - 20 %,

30 min - 50 %,

40 min - 60 %,

45 min - 10 %,

65 min - 10 %

분획(fraction) 받은 시테로포아를 진공농축기(Vacuum concentrator)에 100mm/hg, 20 °C로 용액을 날린 후 50 μ l H₂O (HPLC grade)로 녹여 스핀다운(spin down) 한 후 상층액을 분획(fraction)하여 정제하고 피크(peak)를 세분화하기 위하여 같은 조건으로 한 번 더 반복하였다.

다음 2차 및 3차 분획(fraction)을 다음 조건으로 하였다.

Solvent 조건 : Water 90% (w/ 0.1% TFA): Acetonitrile 10%(w/ 0.1% TFA)

Detection & gradient 조건: Absorbance at 435nm (Sample volume: 50 μ l)

20 min - 10%

60 min - 20%

그 결과를 도 4 ~ 도 6 그리고 표 1 및 표 2에 나타내었다.

표 1

Strain	Media	Total area (mAU)	Dry weight (g)	Specific activity (total area/g)	Ratio of specific activity
Fg Δ ftr1ftr2	(+Fe) AMM	6219	0.406	15317.73	1
	(-Fe) AMM	24791	0.076	326197.37	21.30

표 2

균주	Area (20 μ l)	정량 (mg)	Peak 수
Fg $\Delta ftr1ftr2$ (<i>Fusarium graminearum</i>)	48356.5	836.960	48
Fp WT (<i>Fomitopsis palustris</i>)	28123.5	486.765	20

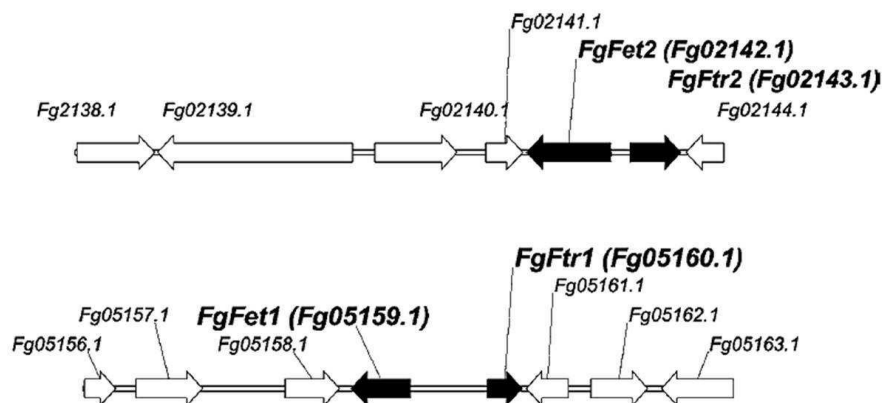
[0063]

[0064]

이상으로 본 발명의 특정한 부분을 상세히 기술하였으나, 당업계의 통상의 지식을 가진 자에게 있어 이러한 구체적인 기술은 단지 바람직한 구현예일 뿐이며, 이에 본 발명의 범위가 제한되는 것이 아닌 점은 명백하다. 따라서 본 발명의 실질적인 범위는 첨부된 청구항과 그의 균등물에 의하여 정의된다고 할 것이다.

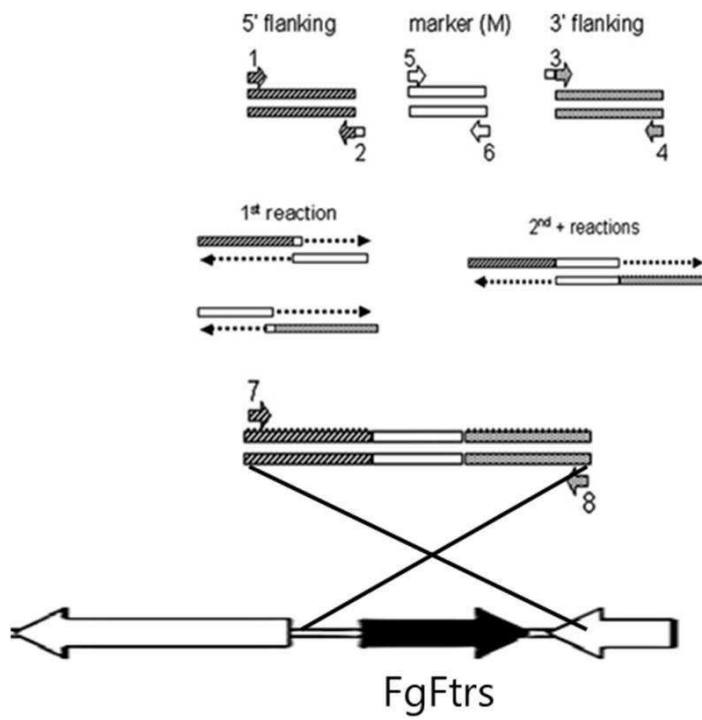
도면

도면1

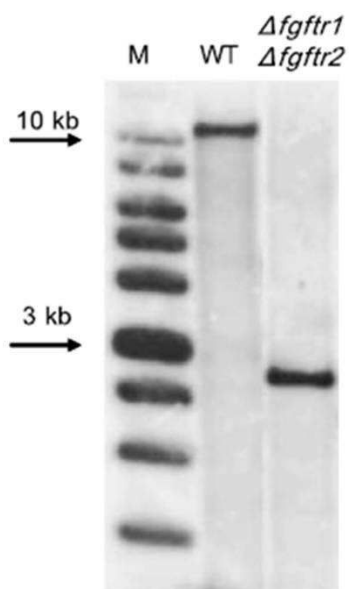


FgFtr1 and *FgFtr2* are localized as neighbouring genes with *FgFet1* and *FgFet2* respectively on *F. graminearum* chromosomes

도면2a



도면2b



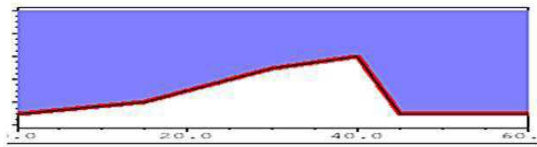
도면3

Culture condition
Low Iron media for 2 days



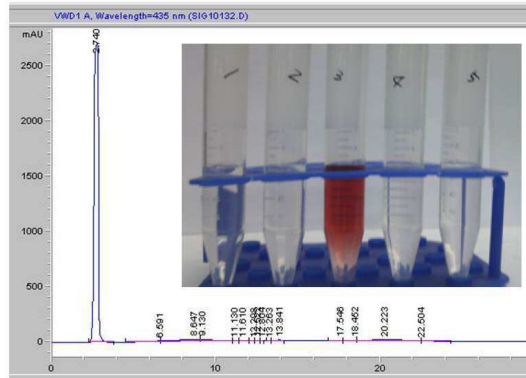
XAD-16 column
Elution
concentration

Absorbance at 435nm, 15 μ l	
Water 90% : ACN 10%	
Time	ACN
0 min	10 %
15 min	20 %
30 min	50 %
40 min	60 %
45 min	10 %
65 min	10 %

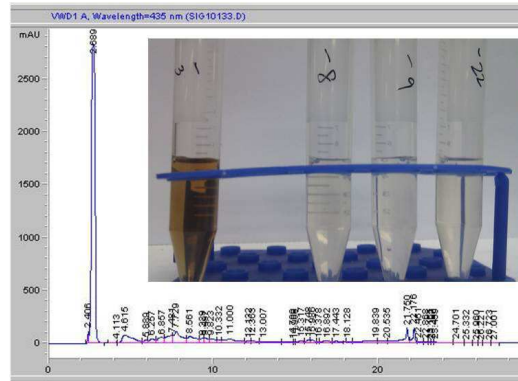


도면4

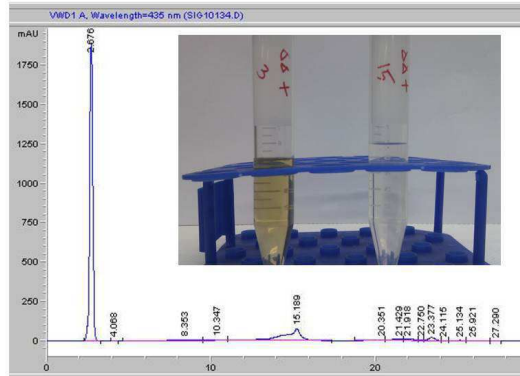
Sample testing
(WT, low iron)



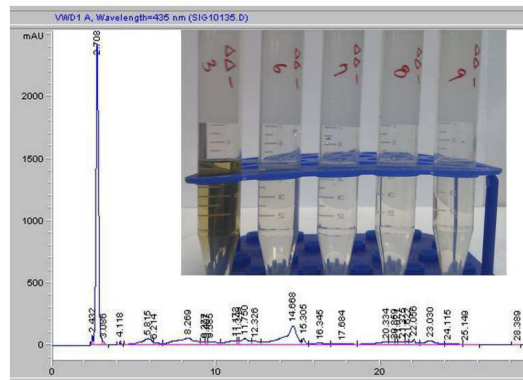
Fg WT (-Fe, AMM)



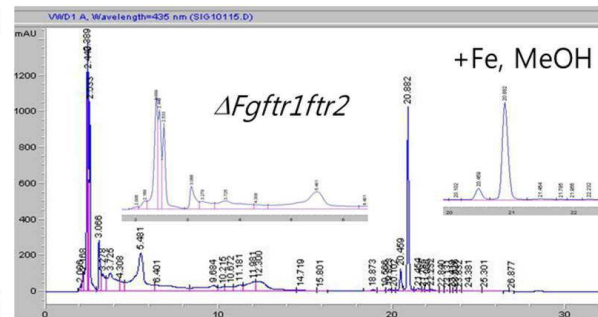
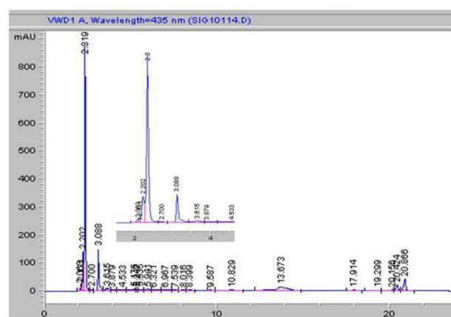
$\Delta Fgfr1ftr2$ (+Fe, AMM)



$\Delta Fgfr1ftr2$ (-Fe, AMM)

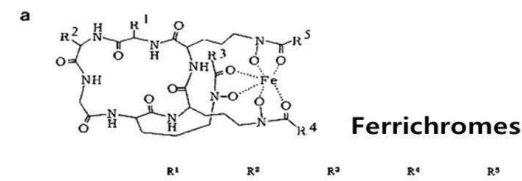


도면5



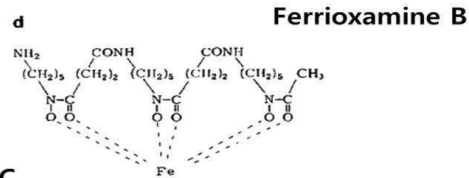
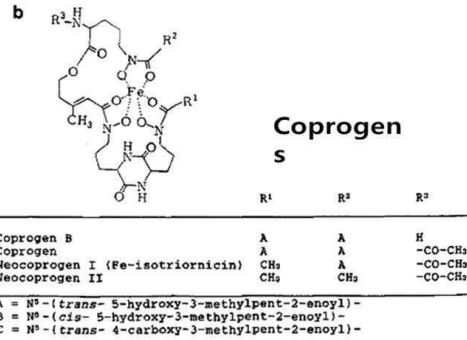
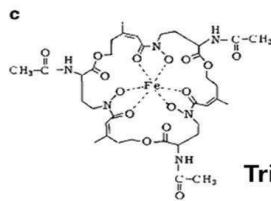
Specis	Condition	Area	ratio
<i>F. graminearum</i>	+Fe, MeOH	557.4	1.00
$\Delta Fgfr1ftr2$	+Fe, MeOH	7578.9	13.60

도면6



Ferrichrome	H	H	CH ₃	CH ₃	CH ₃
(Gly) ₄ Ferrichrome *	H	H	CH ₃	CH ₃	CH ₃
Ferricrose C	H	CH ₃	CH ₃	CH ₃	CH ₃
Ferricrocin	H	CH ₂ OH	CH ₃	CH ₃	CH ₃
Ferrichrysin	CH ₂ OH	CH ₂ OH	CH ₃	CH ₃	CH ₃
Asperchrome D1	CH ₂ OH	CH ₂ OH	A	CH ₃	CH ₃
Asperchrome B1	CH ₂ OH	CH ₂ OH	CH ₃	A	A
Ferrirubin	CH ₂ OH	CH ₂ OH	A	A	A
Ferrirhodin	CH ₂ OH	CH ₂ OH	B	B	B
Ferrichrome A	CH ₂ OH	CH ₂ OH	C	C	C
DDF **	-	-	B	B	B

* 4 Gly instead of 3 Gly in ferrichrome
 ** DDF = des(diserylglycyl)-ferrirhodin is a ferrirhodin without the -Ser-Ser-Gly- sequence.



Biol Metals (1988) 1:9-17