

리보플라빈을 함유한 바이오닥터™ 처리에 따른 벼 도열병과 흰잎마름병 억제효과

Riboflavin-based BioDoctor™ Induced Disease Resistance against Rice Blast and Bacterial Leaf Blight Diseases

강범용¹ · 한송희² · 김철홍² · 김영철^{1*}

¹전남대학교 친환경농업연구소, ²㈜현농

*Corresponding author

Tel: +82-62-530-2071

Fax: +82-62-530-0208

E-mail: yckimyc@jnu.ac.kr

Beom Ryong Kang¹, Song Hee Han², Chul Hong Kim², and Young Cheol Kim^{1*}

¹Institute of Environmentally-Friendly Agriculture, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

²Hyunnong Co., Ltd., Gokseong 57512, Korea

Rice bacterial blight and blast are devastating rice diseases in worldwide. Riboflavin, vitamin B₂, is an essential nutrient for human health, and is known to be as a growth regulator and as a plant defense activator against pathogens in plants. In this study, we investigated possibility of increasing internal vitamin B contents and inducing resistances against rice diseases by external foliar application of a riboflavin-based formulator called BioDoctor. *In planta* bioassay indicated that pretreatment of the foliar application of 1,000-fold or 500-fold diluted BioDoctor significantly induced disease resistance against rice blast and bacterial blight. In addition, about four fold higher levels of riboflavin contents were detected in the BioDoctor treated rice grain and stem compared to those of untreated rice. Our results indicated that foliar application of the riboflavin has a great potential to control plant diseases and to enhance internal vitamin contents in rice.

Keywords: Bacterial blight, BioDoctor™, Blast, Induced disease resistance, Riboflavin

Received June 29, 2016

Revised August 9, 2016

Accepted August 16, 2016

비타민 B₂로 알려진 리보플라빈(riboflavin)은 수용성 비타민의 한 종류로, 건강한 인체와 생활을 위해 그 중요성이 커지고 있다. 리보플라빈은 탄수화물과 아미노산의 산화와 관련된 물질대사에 관여하며, 특히 에너지 대사에 있어서 매우 중요하다. 하지만 인체에서 합성되거나 축적되는 양이 적기 때문에 외부로부터 섭취하여 보충하여야 한다(Powers, 2003). 최근에 비타민 함량이 부족한 쌀의 배유에서 카로티노이드 합성에 관련된 유전자를 도입한 'Golden Rice' 품종을 개발하여 쌀의 비타민 부족을 해결한 보고도 있다(Paine

등, 2005). 대부분의 영양소가 존재하는 배아와 겨를 대상으로 하는 현미는 비타민 B와 E, 아미노산, 식이섬유 등의 영양 성분을 많이 함유하고 있으며(Liu 등, 2009; Ohtsubo 등, 2005; Woo 등, 2007), 싹이 날 때 각종 비타민, 칼슘, 무기질, 아미노산, 효소, arabinoxylane와 γ -aminobutyric acid (GABA) 등의 영양소가 증가하는 것으로 알려져 있다(Zhang 등, 2006). 이들 영양소들 중에는 식물체 내에서 생성되어 영양학적인 측면에서 중요한 역할과 동시에 식물체의 다양한 생리, 특히 외부적인 환경에 대한 면역 반응에도 영향을 준다. 특히, 식물이 합성하는 아미노산 유도체인 aminobutyric acid는 salicylic acid와 유사하게 식물의 병 저항성을 유도하여 토마토의 병을 현저히 감소시킨다고 알려져 있다(Cohen 등, 1994).

Research in Plant Disease

pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191

www.online-rpd.org

©The Korean Society of Plant Pathology

©This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

비타민 B1 (thiamine), 비타민 B2 (riboflavin), 비타민 K3 (menadione)는 벼, 토마토, 콩, 담배, 애기장대에서 식물 면역이 증대되어 세균, 곰팡이, 바이러스 등 식물병원균을 억제하는 것으로 알려져 있다(Ahn 등, 2005, 2007; Dong과 Beer, 2000; Liu 등, 2010; Song 등, 2013; Taheri와 Tarighi, 2010, 2011). 벼, 담배와 다양한 채소류에 thiamine을 살포할 경우에는 강력한 전신획득저항성(systemic acquired resistance) 유도 능력을 보인 것으로 보고되었다(Ahn 등, 2005, 2007). 리보플라빈을 식물에 처리할 경우에도 *Tobacco mosaic virus*, *Phytophthora parasitica*, *Ralstonia solanacearum*과 *Botrytis cinerea*에 대한 저항성이 보고되었다(Azami-Sardooei 등, 2010; Dong과 Beer, 2000; Liu 등, 2010; Taheri와 Tarighi, 2010, 2011). 벼에 처리할 경우에는 *Rhizoctonia solani*에 의한 잎집무늬마름병에 대해 병저항성이 유도되었고(Taheri와 Höfte, 2007), 과수에서는 포도 노균병(Boubakri 등, 2013)에 대해 병저항성이 유도되었다. 리보플라빈에 의한 식물면역 반응 기작은 병저항성 관련 유전자들(pathogenesis-related genes)을 발현시켜 전신저항성을 유도할 뿐만 아니라(Dong과 Beer, 2000), 식물병원세균의 quorum sensing (QS)의 신호물질이나 QS receptor인 LasR을 활성화한다고 알려져 있다(Rajamani 등, 2008).

하지만 아직까지 리보플라빈을 처리하여 벼에 중요한 병해인 도열병과 흰잎마름병에 대한 방제 효능이나 리보플라빈 처리에 의해 식물체 내에 함량을 증진하는 보고는 없는 실정이다. 따라서, 본 연구는 리보플라빈 함유제제인 바이오닥터(BioDoctor)를 통해 주요 벼 병해인 도열병과 흰잎마름병에 저항성을 유도할 뿐만 아니라 벼에 부족한 비타민의 함유량도 증진할 수 있는지 가능성을 검토하였다.

벼 도열병에 대한 바이오닥터의 병 저항성 유도효과. 벼 잎도열병에 대한 병 저항성 유도는 전남대학교 유리온실에서 공시품종으로 '호평벼'와 '일미벼'를 사용하여 유묘 검정하였다. 벼 병 저항성 유도제로는 리보플라빈 함유 제제인 바이오닥터(주요성분: vitamin B2 (C₁₇H₂₀N₄O₆), KH₂PO₄, MgSO₄·3H₂O, CuSO₄·H₂O, Sucrose; Hyunnong Co., Ltd., Gokseong, Korea) 제품을 이용하여 경엽살포하였다. 본 제형은 기존에 보고된 벼 병해에 대한 병 저항성 유도 최적 리보플라빈 농도가 0.01 mM이라는 보고에 기초하여(Taheri와 Tarighi, 2010), 바이오닥터를 500배(리보플라빈 함량 0.04 mM)와 1,000배(리보플라빈 함량 0.02 mM) 농도로 희석하여 경엽살포하게 조제한 제품이다. 또한 예비 실험결과 250배 희석 혹은 1,500배로 희석한 바이오닥터 처리구에서는 물 처리구와 비슷한 병 발생률을 보였다(data not shown). 따라

서 본 연구에서는 500배 희석과 1,000배 희석 바이오닥터 처리구만을 공시하였다.

벼 종자는 1% 차아염소산나트륨(NaOCl) 용액에서 1분간 표면살균 후 멸균수로 3회 세척하고 여과지로 물기를 제거하였다. 각각의 종자를 포트(9.5×7×9 cm, Bio-Bed Soil; Hungnong Seed Co., Ltd., Pyeongtaek, Korea)에 파종 후 6주 동안 자란 유묘에 7일 간격으로 500배와 1,000배 농도로 희석한 바이오닥터를 각각 3회 처리하고 7일 후에 도열병균(*Magnaporthe oryzae* KACC 40436, KJ 401) 포자현탁액(1×10⁵ conidia/ml)을 접종하였다. 접종한 식물체는 온실에서 발병을 유인하여 기존에 보고된 방법을 이용하여 유묘 검정을 수행하였다(Kang 등, 2008). 벼 도열병균의 포자 형성을 위해 oat meal 배지(Difco Inc., Detroit, MI, USA)에서 배양한 후 배지 표면의 균사를 제거하고 형광등 조명하에 25°C에서 72시간 후 형성된 분생포자를 멸균수로 씻어내어 얻었다. 병원균 접종 후 14일부터 벼 잎에 발생한 도열병 병반을 대상으로 병반면적률을 조사하였다(Ahn 등, 2005). 모든 자료의 통계 분석은 IBM SPSS Statistics 21.0 software (IBM Co., Armonk, NY, USA)를 사용하여 일원배치 분산분석을 한 후 F값에 의한 던컨검정으로 통계적 유의성을 검정하였다.

호평과 일미 두 품종의 무처리구에서 벼 잎도열병의 전형적인 병징인 마름모형의 병반이 접종 후 10일째부터 나타난 반면에 바이오닥터를 처리한 벼에서는 무처리구 대비 잎도열병 발생이 현저히 감소하였다(Fig. 1A). 바이오닥터를 처리한 잎에 *M. oryzae*를 접종한 부위에서는 마름모형 병반과는 달리 소형의 원형 및 부정형 병반이 나타났다(data not shown).

바이오닥터 1,000배 희석액을 처리한 호평벼는 무처리구 대비 24.6%의 병반면적 감소율을 보였으며 이는 벼 잎도열병에 대한 저항성이 유도되었음을 추론하게 하였다. 또한, 500배 희석 처리구에서도 비슷한 수준의 병반면적 감소율이 나타났다. 일미벼에서도 동일한 농도의 바이오닥터 처리구에서 비슷한 수준의 잎도열병에 대한 병반면적 감소율을 나타내었다(Fig. 1A).

벼 흰잎마름병에 대한 바이오닥터의 병 저항성 유도효과. 호평벼와 일미벼는 32구 육묘상자 트레이(540×280×50 mm)에 수도용 상토(Pungnong, Seoul, Korea)를 채우고 1구당 3립씩 파종하여 전남대학교 유리 온실(30°C, 45% 습도)에서 5주 동안 자란 유묘를 포트(1/5,000 와그너포트)로 옮긴 후 최고분얼기에 바이오닥터 500배와 1,000배 희석농도로 7일 간격으로 3회 처리하고 7일 후 병원균을 접종하였다. 농촌진흥

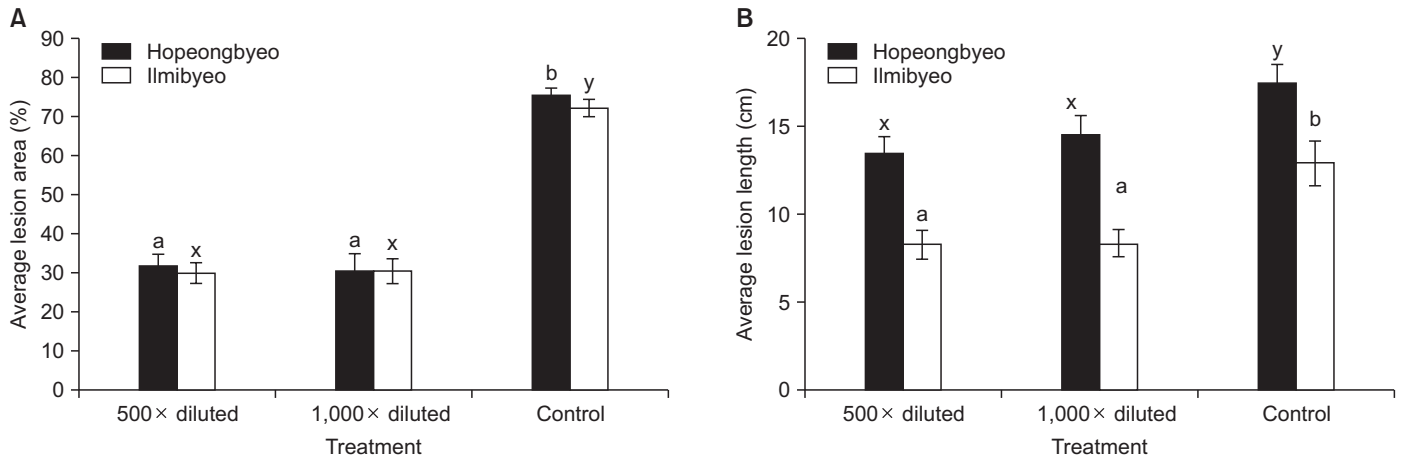


Fig. 1. Effect of a riboflavin-based formulor BioDoctor application on rice leaf blast (A) and bacterial leaf blight (B) development under greenhouse. Rice plants ('Hopeongbyeo' and 'Ilmibyeo') were inoculated with each pathogen at 7 days after spraying of three times of sterile water (control), 500 diluted (500×) or 1,000 diluted (1,000×) BioDoctor in 7 day intervals (A). Rice blast fungus (KACC 40436, KJ401) conidia (1×10^5 conidia/ml) were cultured on oat meal medium. The mycelia of the culture medium surface was removed to form spores and conducted under fluorescent light for 72 hours at 25°C. The mean percentage of diseased leaf area (%) on upper 3 leaves of rice at growth stage seedling-tillering is assessed. *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* K3 (KACC 10386) was used for pathogen inoculation (B). The bacterial pathogen was sub-cultured at 28°C on nutrient broth for 2 days. Inoculums were prepared by harvesting with centrifugation and re-suspending the bacterial cells in sterile water and adjusting to $OD_{600nm}=1.0$. Control plants were treated with sterile water. Fifteen days post inoculation, lesion length was measured from the cut surface at the tip to the distal-most position on the leaf that exhibited a typical lesion. The last rice leaves were infected with race K3 by using scissors dipped in bacterial suspensions to clip leave 2 cm down from the tip of the leaf blade at the heading stage of 'Hopeongbyeo' and 'Ilmibyeo'. Different letters indicate significant differences in disease symptoms between treatments according to Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). The three independent experiments were performed each with 9 plants/treatment.

청 Korean Agricultural Culture Collection에서 분양받은 벼 흰잎마름병원균(*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* race K3, KACC 10386)을 nutrient broth 배지(Difco)에 28°C에서 48시간 동안 배양한 후 $OD_{600nm}=1.0$ 농도로 멸균수로 희석하여 접종원으로 사용하였다. K3 균주 현탁액을 벼의 최고분얼기 또는 출수기 벼 상위 5-6엽을 가위로 절엽 접종한 후 14일 후 병진전 길이를 측정하였다. 병진전 길이는 가위로 절단된 부위에서 하위로 진전되어 내려간 거리를 측정하였다(Peng 등, 2015).

바이오닥터를 경엽살포한 일미벼와 호평벼 모두에서 흰잎마름병원균에 대한 병 저항성이 유도되었다. 무처리는 접종 후 7일째부터 접종 부위가 마르면서 하위로 전이되는 현상이 나타났지만, 바이오닥터를 처리한 잎에서는 절엽 부위에 상처에 의한 마름현상과 함께 갈변증상이 나타났다. 병진전 길이는 바이오닥터 처리구에서 무처리보다 4 cm 내외 짧아 병 저항성이 유도되었다(Fig. 1B). 250배 이상의 고농도와 1,500배 이하의 살포구에서는 흰잎마름병에 대한 유도 저항성이 관찰되지 않았다(data not shown).

본 연구에서 살포한 바이오닥터 희석액의 리보플라빈 함량은 0.02-0.04 mM 범위로 기존에 보고된 리보플라빈 병 저항성 유도 능력과 비슷한 범위에 속했다. 일반적으로 병 저항성을 유도하는 병 저항성 활성제들은 특정 농도에서만 병 저항성을 유도하고 고농도에서는 병 저항성 유도 능력을 보이지 않는다고 알려져 있다. 예를 들면, 벼 잎집무늬마름병과 갈색균핵병(*Rhizoctonia oryzae-sativae*)에 대한 병 저항성 유도 최적 리보플라빈 농도는 0.01-2 mM이었으며, 2 mM의 고농도 살포구보다는 0.01 mM에서 벼에 병 저항성 능력이 가장 높았다는 보고가 있다(Taheri와 Tarighi, 2010). 또한 콩 시들음병과 검은썩은병에 대한 병 저항성 유도는 1-2.5 mM의 리보플라빈에서 가장 높은 효과를 보였지만, 고농도의 리보플라빈 처리구에서 저항성 유도 효과는 없다는 보고가 있다(Saikia 등, 2006). 최근 애기장대에서는 0.6 mM 리보플라빈이 병 저항성을 유도하는 최적농도라고 보고되었다(Nie와 Xu, 2016). 바이오닥터 제품에는 리보플라빈 이외에 다른 구성 성분들이 함유되어 있어 이들에 의한 병 저항성 유도 능력을 배제할 수는 없다. 하지만 본 연구에서 실제 리보플라빈의 살포농도가 기존의 보고가 일치하여 리보플라빈이 바이오닥터 경엽살포의 병 저항성 유도에 주요 성분으로 생각된다.

리보플라빈이 벼에 침입하는 *M. oryzae* 병원균에 대항하는 방어 기작에 대한 연구는 보고되어 있지 않다. 하지만 비타

항성을 유도하는 병 저항성 활성제들은 특정 농도에서만 병 저항성을 유도하고 고농도에서는 병 저항성 유도 능력을 보이지 않는다고 알려져 있다. 예를 들면, 벼 잎집무늬마름병과 갈색균핵병(*Rhizoctonia oryzae-sativae*)에 대한 병 저항성 유도 최적 리보플라빈 농도는 0.01-2 mM이었으며, 2 mM의 고농도 살포구보다는 0.01 mM에서 벼에 병 저항성 능력이 가장 높았다는 보고가 있다(Taheri와 Tarighi, 2010). 또한 콩 시들음병과 검은썩은병에 대한 병 저항성 유도는 1-2.5 mM의 리보플라빈에서 가장 높은 효과를 보였지만, 고농도의 리보플라빈 처리구에서 저항성 유도 효과는 없다는 보고가 있다(Saikia 등, 2006). 최근 애기장대에서는 0.6 mM 리보플라빈이 병 저항성을 유도하는 최적농도라고 보고되었다(Nie와 Xu, 2016). 바이오닥터 제품에는 리보플라빈 이외에 다른 구성 성분들이 함유되어 있어 이들에 의한 병 저항성 유도 능력을 배제할 수는 없다. 하지만 본 연구에서 실제 리보플라빈의 살포농도가 기존의 보고가 일치하여 리보플라빈이 바이오닥터 경엽살포의 병 저항성 유도에 주요 성분으로 생각된다.

민 A인 thiamine을 접종한 벼 잎에서 *M. oryzae* 병원균에 감염된 부위의 병반 진전이 없었으며, 침입 주변 세포들이 급격히 사멸되는 과민성 반응이 보인 보고가 있다(Ahn 등, 2005; Kim 등, 2001). 콩에서 리보플라빈 접종 후 1-2일부터 병 저항성이 유도되기 시작했으며 5-7일 후에 최대로 나타났으며, thiamine은 6-8일에 병 저항성이 가장 높았다고 한다(Abdel-Monaim, 2011; Saikia 등, 2006). 또한 벼에서 thiamine은 처리 24시간 후부터 저항성에 관련된 유전자들이 발현되기 시작하여 병 저항성이 유도되었다는 보고가 있다(Ahn 등, 2005). 최근 Boubakri 등(2016)에 의하면 thiamine은 주로 salicylic acid 경로를 활성화하여 벼에서 병 저항성을 유도하는 반면에, 리보플라빈은 jasmomic acid 경로를 활성화하여 병 저항성을 유도한다고 보고하고 있다. 하지만 최근 애기장대에서는 리보플라빈에 의해 유도되는 병 저항성은 mitogen-activated protein kinases 3와 6가 관여하는 salicylic acid 경로가 활성화되어 PR-1 단백질이 관여한다는 상반된 보고도 있다(Nie와 Xu, 2016). 차후 각 비타민별 처리에 의한 병 저항성 유도 능력 비교와 병 저항성 유도 기작에 대한 연구도 흥미로운 연구 주제로 생각된다.

바이오닥터를 처리한 벼의 리보플라빈 함량 증진. 바이오닥터 경엽살포에 따른 벼의 리보플라빈 함량 변화를 알아보기 위해 생육시기별로 바이오닥터를 살포하고 벼에 흡

수된 함유량을 조사하였다. 2012년도 6월부터 10월까지 전남 함평군 대동면 강운리 재배농가에서 '호평벼'를 본답에 이앙한 후 최고분얼기인 영양생장기부터 출수 전후의 생식생장기까지 바이오닥터를 500배와 1,000배 농도로 희석하여 출수 전부터 7일 간격으로 3회 살포하였다. 최종 살포 15일 후 벼 알곡과 잎을 수확하여 벼 체내에 흡수된 비타민 B2 함유량을 분석하였다. 각 처리구는 9 m² 면적으로 3반복 난괴법으로 수행하였다

각 처리구당 무작위로 수확한 1 kg의 알곡과 잎을 수집하여 분쇄한 후 표준체로 균질화한 시료 5 g을 사용하였다. 각 시료에 멸균수 50 ml을 첨가하고 진탕기(HK-FS101; DongSung Science, Bucheon, Korea)에서 10분간 혼합한 후 70°C-80°C에서 20분간 중탕하여 추출하였다. 추출액을 상온에서 식힌 후 4°C에서 10분간 3,000 rpm으로 원심분리한 후 상등액 2 ml를 취하여 수용성 syringe filter (0.45 µm; Sartorius, Gottingen, Germany)로 정제한 후 Shimadzu의 VP-ODS column (C₁₈, 250×4.6 mm, particle size 5 µm; Shiseido, Tokyo, Japan)을 이용하여 비타민 함유량을 측정하였다. 표준물질은 리보플라빈(Sigma CAS number: 83-88-5; Sigma, St. Louis, MO, USA)을 이용하였다. 이동상 용매로는 MeOH:10 mM NaH₂PO₄ (pH 5.5)=35:65를 이용하였으며 유속 0.8 ml/min으로 분석하였다. 모든 자료의 통계분석은 IBM SPSS Statistics 21.0 software를 사용하여 일원배치 분산 분석을 한 후 F값에 의한 던컨검정

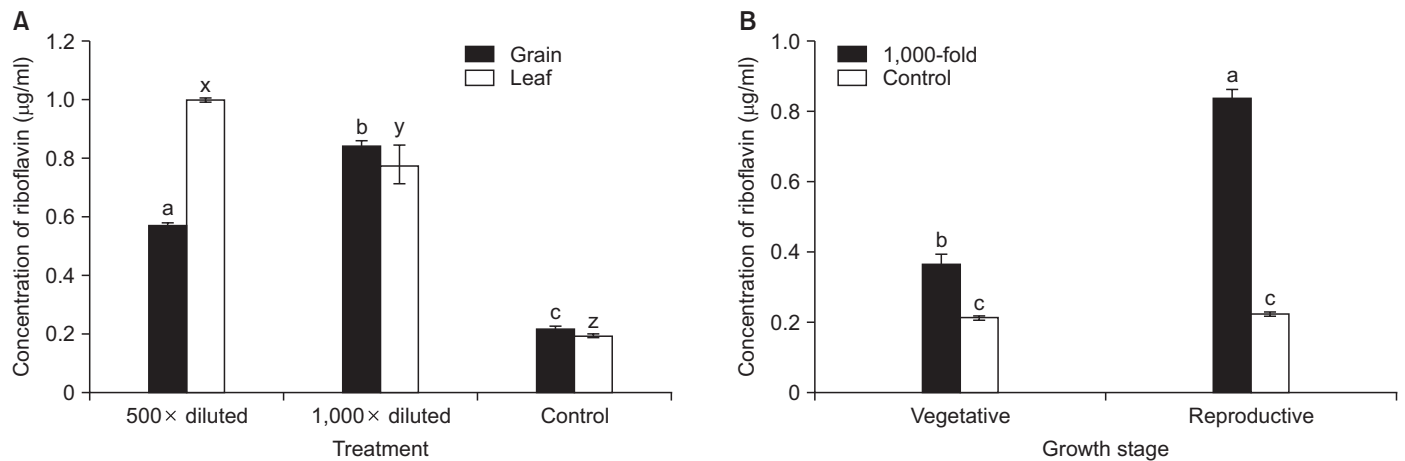


Fig. 2. Internal riboflavin accumulation in the rice grains and leaves post-treatment of foliar applications of the BioDoctor on different growth stages of 'Hopeongbyeo' in the field. Rice samples ('Hopeongbyeo') were randomly obtained from the vegetative to the reproductive stage in the field. BioDoctor was applied to three times of sterile water (control), 500 diluted (500×) or 1,000 diluted (1,000×) concentrations in 7 day intervals. Fifteen days post spraying, riboflavin content of the grains and leaves was measured by high-performance liquid chromatography (HPLC). Various (5 g) samples were finely homogenized and boiled in a water bath for 20 minutes. This sample was cooled and filtered the supernatant through a 0.45 µm cellulose filter. The HPLC separation was performed using a Shim-pack VP-ODS C₁₈ column (250×4.6 mm, particle size 5 µm). The mobile phase was a 65:35 (v/v) mixture of 10 mM sodium dihydrogen phosphate (pH 5.5)-methanol and the flow rate was delivered at 0.8 ml/min. Different letters indicate significant differences in disease symptoms between treatments according to Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

으로 통계적 유의성을 검정하였다.

바이오닥터를 분얼이 왕성하게 일어나는 영양생장기에 살포할 경우 벼 체내에 흡수율이 가장 높았지만, 최고분얼기부터 출수기까지 살포하여 흡수된 생식생장기 때 검출된 농도와는 통계적으로 같은 수준이었다(data not shown). 또한 출수 전부터 3회 살포한 처리구의 벼 잎에서 흡수된 리보플라빈의 함유량도 500배 희석 처리구가 무처리구 대비 5배 이상 높았고, 1,000배 희석 처리구에서는 4배 높은 결과를 나타냈다(Fig. 2A). 이삭이 팬 후부터 알곡에 흡수된 리보플라빈의 함유량은 영양생장기보다는 생식생장기에 살포한 처리구에서 39.2% 더 높았고(Fig. 2B), 영양생장기에 살포한 처리구를 수확 후 알곡에 함유된 리보플라빈 수준은 무처리 대비 1.8배 이상 높았다. 따라서, 이들 결과들은 리보플라빈이 함유된 바이오닥터 제품의 활용을 통해 비타민이 함유된 기능성 쌀을 생산할 수 있음을 보여준다.

이삭도열병은 수확량에 가장 크게 영향을 미치는 벼의 주요병해로서, 특히 출수 초기에 발병될 경우 82% 이상 감소되는 것으로 보고되었으며(Shim 등, 2003), 영양생장기에 잎도열병 발병률과 전염률이 높으면 이삭도열병의 발생률도 높아지는 상관관계가 있는 연구결과도 있다(Ghatak 등, 2013). 이러한 벼 도열병의 친환경적인 방제방법으로는 저항성 품종과 감수성 품종을 혼합 재배하여 방제하는 방법(Oh 등, 2008)과 석회보르도액이나 sulfated peptide 등 유기농자재를 이용하여 방제하는 방법(Kang 등, 2008; Wei 등, 2016) 등도 제시되었다. 또한, 본 연구를 통해 확인된 바이오닥터 제품의 도열병발생 억제효과는 벼 도열병 방제를 위한 또 다른 방법으로 활용될 수 있음을 보여주고 있다.

본 연구결과 영양생장기에 바이오닥터를 경엽살포하여 병 저항성이 유도된 벼는 잎도열병을 방제할 수 있으며 이삭도열병과 흰잎마름병의 발병도 효과적으로 감소시킬 수 있음을 보여주고 있다. 현재까지 보고된 논문들은 주로 비타민의 경엽살포에 의해 병 저항성 유도 능력만 보고하였지만, 본 연구는 실제로 리보플라빈 기반 바이오닥터 제품을 경엽살포한 후 벼의 줄기와 알곡에까지 리보플라빈이 전이되어 비타민 함량이 증진되고 이는 병 저항성과 연관되어 있음을 보여주는 최초 보고 논문이다.

요 약

쌀은 세계에서 가장 중요한 작물 중의 하나이지만 충분한 비타민을 제공하지 않고, 벼 도열병과 흰잎마름병은 전 세계적으로 가장 큰 피해를 주고 있는 병해이다. 리보플라

빈, 비타민 B2는 인간의 건강에 필수적인 영양소이며, 식물의 병원균에 대한 식물의 방어 활성화로 알려져 있다. 본 연구에서는 BioDoctor (Hyunnong Co., Ltd., Gokseong, Korea)라는 리보플라빈 기반 제품을 벼에 경엽살포했을 때, 주요 병해에 대한 저항성 유도 및 벼 체내에 비타민 함량이 증가되는지에 대한 가능성을 조사하였다. 온실 검정에서 BioDoctor 제품 500배와 1,000배로 희석하여 경엽처리 결과 벼 도열병과 흰잎마름병에 대해 현저한 병 저항성을 유도하였다. 또한, BioDoctor를 처리한 알곡과 잎에서 통계적으로 유의한 수준으로 리보플라빈 함량이 검출되었다. 본 연구는 비타민인 리보플라빈이 함유된 BioDoctor가 벼 도열병과 흰잎마름병에 대해 병 저항성을 유도할 뿐만 아니라 쌀 곡류 내에 비타민 함량을 증가시키는 큰 잠재력을 가지고 있는 것으로 나타났다.

Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgement

This research was supported by a grant from High Value-added Food Technology Development Program (111037-2), the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (IPET) through the Agri-Bio Industry Technology Development Program, funded by the Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA).

References

- Abdel-Monaim, M. F. 2011. Role of riboflavin and thiamine in induced resistance against charcoal rot disease of soybean. *Afr. J. Biotechnol.* 10: 10842-10855.
- Ahn, I. P., Kim, S. and Lee, Y. H. 2005. Vitamin B1 functions as an activator of plant disease resistance. *Plant Physiol.* 138: 1505-1515.
- Ahn, I. P., Kim, S., Lee, Y. H. and Suh, S. C. 2007. Vitamin B1-induced priming is dependent on hydrogen peroxide and the *NPR1* gene in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 143: 838-848.
- Azami-Sardoei, Z., França, S. C., De Vleeschauwer, D. and Höfte, M. 2010. Riboflavin induces resistance against *Botrytis cinerea* in bean, but not in tomato, by priming for a hydrogen peroxide-fueled resistance response. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 75: 23-29.
- Boubakri, H., Gargouri, M., Mliki, A., Brini, F., Chong, J. and Jbara, M. 2016. Vitamins for enhancing plant resistance. *Planta* 244: 529-

- 543.
- Boubakri, H., Poutaraud, A., Wahab, M. A., Clayeux, C., Baltenweck-Guyot, R., Steyer, D., Marcic, C., Mliki, A. and Soustre-Gacougnolle, I. 2013. Thiamine modulates metabolism of the phenylpropanoid pathway leading to enhanced resistance to *Plasmopara viticola* in grapevine. *BMC Plant Biol.* 13: 31.
- Cohen, Y., Niderman, T., Mosinger, E. and Fluhr, R. 1994. β -aminobutyric acid induces the accumulation of pathogenesis-related proteins in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) plants and resistance to late blight infection caused by *Phytophthora infestans*. *Plant Physiol.* 104: 59-66.
- Dong, H. and Beer, S. V. 2000. Riboflavin induces disease resistance in plants by activating a novel signal transduction pathway. *Phytopathology* 90: 801-811.
- Ghatak, A., Willocquet, L., Savary, S. and Kumar, J. 2013. Variability in aggressiveness of rice blast (*Magnaporthe oryzae*) isolates originating from rice leaves and necks: a case of pathogen specialization. *PLoS One* 8: e66180.
- Kang, B. R., Kim, S. G., Kim, D. I., Lee, Y. H., Choi, K. J. and Choi, Y. S. 2008. Effect of bordeaux mixture on control of rice leaf blast. *Res. Plant Dis.* 14: 182-186. (In Korean)
- Kim, S., Ahn, I. P., Park, C. H., Park, S. G., Park, S. Y., Jwa, N. S. and Lee, Y. H. 2001. Molecular characterization of the cDNA encoding an acidic isoform of pr-1 protein in rice. *Mol. Cells* 11: 115-121.
- Liu, F., Wei, F., Wang, L., Liu, H., Zhu, X. and Liang, Y. 2010. Riboflavin activates defense responses in tobacco and induces resistance against *Phytophthora parasitica* and *Ralstonia solanacearum*. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 74: 330-336.
- Liu, K., Cao, X., Bai, Q., Wen, H. and Gu, Z. 2009. Relationships between physical properties of brown rice and degree of milling and loss of selenium. *J. Food Eng.* 94: 69-74.
- Nie, S. and Xu, H. 2016. Riboflavin-induced disease resistance requires the mitogen-activated protein kinases 3 and 6 in *Arabidopsis thaliana*. *PLoS One* 11: e0153175.
- Oh, I. S., Min, J. Y., Cho, M. G., Roh, J. H., Shin, D. B., Song, J., Kim, M. K., Cho, Y. C., Kim, B. R. and Han, S. S. 2008. Rice blast control and race diversity by mixed-planting of two cultivars ('Hopyeongbyeo'/'Nampyeongbyeo') with different susceptibility to *Magnaporthe oryzae*. *Res. Plant Dis.* 14: 143-152. (In Korean)
- Ohtsubo, K. I., Suzuki, K., Yasui, Y. and Kasumi, T. 2005. Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder. *J. Food Compost. Anal.* 18: 303-316.
- Paine, J. A., Shipton, C. A., Chaggar, S., Howells, R. M., Kennedy, M. J., Vernon, G., Wright, S. Y., Hinchliffe, E., Adams, J. L., Silverstone, A. L. and Drake, R. 2005. Improving the nutritional value of golden rice through increased pro-vitamin a content. *Nat. Biotechnol.* 23: 482-487.
- Peng, H., Chen, Z., Fang, Z., Zhou, J., Xia, Z., Gao, L., Chen, L., Li, L., Li, T., Zhai, W. and Zhang, W. 2015. Rice *Xa21* primed genes and pathways that are critical for combating bacterial blight infection. *Sci. Rep.* 5: 12165.
- Powers, H. J. 2003. Riboflavin (vitamin B-2) and health. *Am. J. Clin. Nutr.* 77: 1352-1360.
- Rajamani, S., Bauer, W. D., Robinson, J. B., Farrow, J. M. 3rd, Pesci, E. C., Teplitski, M., Gao, M., Sayre, R. T. and Phillips, D. A. 2008. The vitamin riboflavin and its derivative lumichrome activate the LasR bacterial quorum-sensing receptor. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 21: 1184-1192.
- Saikia, R., Yadav, M., Varghese, S., Singh, B. P., Gogoi, D. K., Kumar, R. and Arora, D. K. 2006. Role of riboflavin in induced resistance against fusarium wilt and charcoal rot diseases of chickpea. *Plant Pathol. J.* 22: 339-347.
- Shim, H. S., Kim, Y. K., Han, S. S. and Sung, J. M. 2003. Assessments of rice yield loss according to infection time of neck blast. *Res. Plant Dis.* 9: 68-71. (In Korean)
- Song, G. C., Choi, H. K. and Ryu, C. M. 2013. The folate precursor *para*-aminobenzoic acid elicits induced resistance against *Cucumber mosaic virus* and *Xanthomonas axonopodis*. *Ann. Bot.* 111: 925-934.
- Taheri, P. and Höfte, M. 2007. Induction of systemic defense responses in rice against the sheath blight pathogen *Rhizoctonia solani*, by means of riboflavin. *Commun. Agric. Appl. Biol. Sci.* 72: 983-987.
- Taheri, P. and Tarighi, S. 2010. Riboflavin induces resistance in rice against *Rhizoctonia solani* via jasmonate-mediated priming of phenylpropanoid pathway. *J. Plant Physiol.* 167: 201-208.
- Taheri, P. and Tarighi, S. 2011. A survey on basal resistance and riboflavin-induced defense responses of sugar beet against *Rhizoctonia solani*. *J. Plant Physiol.* 168: 1114-1122.
- Wei, T., Chern, M., Liu, F. and Ronald, P. C. 2016. Suppression of bacterial infection in rice by treatment with a sulfated peptide. *Mol. Plant Pathol.* doi: 10.1111/mpp.12368. [Epub ahead of print]
- Woo, S. M., Kim, T. Y., Yeo, S. H., Kim, S. B., Kim, J. S., Kim, M. H. and Jeong, Y. J. 2007. Quality characteristics of alcohol fermentation broth and by-product of brown rice varieties. *Korean J. Food Preserv.* 14: 557-563. (In Korean)
- Zhang, H., Yao, H. Y. and Chen, F. 2006. Accumulation of γ -aminobutyric acid in rice germ using protease. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 70: 1160-1165.