

고추 역병균(*Phytophthora capsici*)의 발육과 감염에 미치는 산성 전해수의 영향

이중환 · 권태룡 · 문재덕¹ · 이준탁^{2*}

경북농업기술원, ¹경북대학교 전자전기공학부, ²경북대학교 농생물학과

Effect of Acidic Electrolyte Water on Growth and Infection of *Phytophthora capsici*

Jung Hwan Lee, Tae Ryong Kwon, Jae Duk Moon¹ and Joon Tak Lee^{2*}

Kyung-buk Agricultural Technology Administration, Taegu, 702-320, Korea

¹Department of Electrical Engineering, College of Engineering,

²Department of Agricultural Biology, College of Agriculture,
Kyungpook National University, Taegu, 702-701, Korea

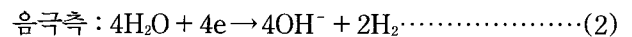
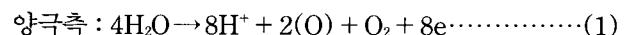
ABSTRACT: This experiment was carried out to elucidate the effect of electrolytic water on the growth and infection of *Phytophthora capsici*. Zoospores of *P. capsici* did not grow on potato dextrose agar when the pathogen was cultured after suspended in electrolytic water (pH 2.5, 3.0, 3.5), while it was well grown when adjusted (pH 2.5, 3.0, 3.5) with HCl solution. When the 100 ml of electrolytic water (pH 2.5, 3.0, 3.5) was irrigated on the red pepper plants that had been inoculated by *P. capsici* (10^3 zoospores/ml), the red pepper plants were not infected but irrigated with sterilized water (pH 6.5) the red pepper plants were infected. With this result, it could be concluded that the good sterilization effect on *P. capsici* might be obtained by applying electrolytic water.

Key words: electrolytic water, *Phytophthora capsici*, pH, red pepper.

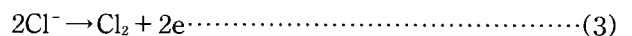
고추는 재배면적이 91,000 ha이며, 연간 생산량도 187,000 ton에 이르는 우리 나라에서 가장 중요한 채소작물로서 탄저병, 역병, 세균성점무늬병 등의 병해에 의한 피해가 해마다 심각한 것으로 보고되고 있다(11, 15). 특히 역병은 토양전염병으로서 고추를 연작할 경우 심하게 발생하고, 장마기에 물에 의해서 전파되며, 배수가 불량하면 그 피해가 더욱 심각한 병으로 전국적으로 고추 수확량을 결정하는 매우 중요한 요인으로 작용하고 있다(4, 11, 14, 15). 그러나 아직까지 이에 대한 무공해하고 안전한 방제대책이 없는 실정이다. 종래의 역병 방제체계는 6월 상순부터 10일 간격으로 농약을 6회 살포할 것을 권장하고 있으나 농약 값에 의한 방제비용과 잔류농약에 의한 환경오염 문제가 대두되고 있는 실정이다. 특히 최근에는 소비자들의 무공해 작물에 대한 욕구가 매우 높아지고 있기 때문에 길항미생물을 이용한 병해방제와 같은 생물학적인 병해 방제법이 현재 많이 연구되고 있다(5, 16).

전해수는 특수 합금된 평판형 전극간에 이온투과격막(membrane)을 설치하고, 이 전극간에 펄스고전압을 인가하면 양쪽 전극(+극, -극)에서는 식(1), (2)와 같이 순수

한 전기에너지에 의해 물의 전기분해작용이 일어난다(12). 양전극(+극)에는 수소이온을 방출하여 산성수가 되며, 특히 살균력이 매우 뛰어난 활성산소(O, O₃, H₂O₂)와 다량의 용존산소(O₂)가 발생되게 된다. 그리고 음전극(-극)에서는 수소와 수소이온이 발생되어 알칼리수가 된다.



한편, 수도물 중에 염분이나 염소가 존재하게 되면, 양전극(+극) 측에는 식(3)과 같은 반응이 일어나서, 식(4)와 같은 반응을 유발하여 살균력이 매우 뛰어난 활성염소(HClO)가 생성되어 수중에 용존하게 된다(6~10).



또한 전해수는 강력한 펄스 전계를 인가하여 수도물이나 미량 [0.1%(w/v)] 이하의 염화나트륨(NaCl)이 용존된 지하수를 이용하여 이온분리작용과 전기분해작용에 의해 만들어지므로(13) 인체에 대한 안전성과 무해성의 장점을 가지면서 매우 뛰어난 살균효과와 성장효과를 가지고 있는 것으로 알려져 있어(6-10) 최근 일본에서는 큰

*Corresponding author

관심을 불러일으키고 있다. 특히 살균효과를 가진 산성 전해수의 경우, 기존의 살균소독제보다 20배 정도의 살균력을 가지고 수 초 이내에 병원균을 살균시키고, 바이러스까지도 불활성화 시키는 것으로 알려져 있어(17) 병원균 감염방지, 의료기구의 살균이나 작물의 병해방제 등에 적용되고 있고, 알카리수의 경우 종자의 발아촉진, 작물에 대한 생장효과 및 음용수 등에도 이용 가능하다고 알려져 있다(7,8).

본 연구에서는 이와 같은 전해수가 식물병해 방제에도 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 생각되어 강력한 펄스 전계에 의해 생성된 pH 2.5, 3.0, 3.5의 산성전해수를 이용하여 고추의 중요 병해인 역병을 안전하고 무공해한 방제 방법을 위한 기초 자료를 얻고자 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

공시균주. 공시균주는 경북 영양에서 수집하여 분리 배양한 역병균(*Phytophthora capsici*)을 potato dextrose agar(PDA) 배지에 7일간 배양한 후 직경 5 mm의 균총을 Petri dish에 분주한 V8배지(V8 주스 200 ml + agar 20 g + 증류수 800 ml)에 이식하여 28°C에서 14시간 배양하였으며, 유주자낭을 형성시키기 위해 실내(약 20°C)에 7일간 두었다가, 배지 표면에 살균수를 가하여 유주자낭 현탁액을 만든 다음, 유주자낭으로부터 유주자가 생성되도록 7°C에서 1시간 냉장하고, 실온에서 3시간 경과시킨 후에 형성된 유주자를 혈구계측기로 계수하여 유주자 현탁액을 10^{2-5} 개/ml 농도로 조정하여 사용하였다.

산성전해수 제조. 본 실험에 사용된 전해수 발생장치는 경북대학교 공과대학 전자전기공학부에서 직접 제작한 것으로 사용된 물은 증류수에 0.5%(w/v)의 소금을 용해시켜서 사용하였으며 전해수 발생장치의 양극(+)측에서 출력된 산성전해수의 pH와 전체 산화성 물질(O, O₂, H₂O₂, HClO)의 농도는 인가된 펄스전류를 조절하여 조절할 수 있었다. pH의 경우 인가전류의 세기가 0.2 A에서 약 3.5로 조절할 수 있었으며, 인가전류의 세기가 높을수록 낮은 pH의 전해수를 생성할 수 있어 인가전류가 0.7 A에서 pH가 약 2.5인 강산성 전해수를 생성할 수 있었고, KI 적정법(1)으로 측정된 산화성 물질의 총량은 전류의 세기와 비례하여 증가하였는데 인가전류의 세기가 0.2 A에서 산화성 물질의 총량이 약 4 ppm 정도, 0.7 A에서 약 20 ppm 정도로 조정된 것을 본 실험에서 사용하였다(Fig. 1).

산성전해수 처리에 의한 유주자의 발육. 고추 역병균(*P. capsici*)에 대한 산성전해수의 살균력을 조사하기 위하여 예비실험으로 pH 2.5에서 11.5까지 0.5 간격으로 살균력을 조사하였으나 pH 4.0 이상에서는 대조구와 차이를 볼 수 없어 본 실험에서는 pH 2.5, 3.0, 3.5의 산성

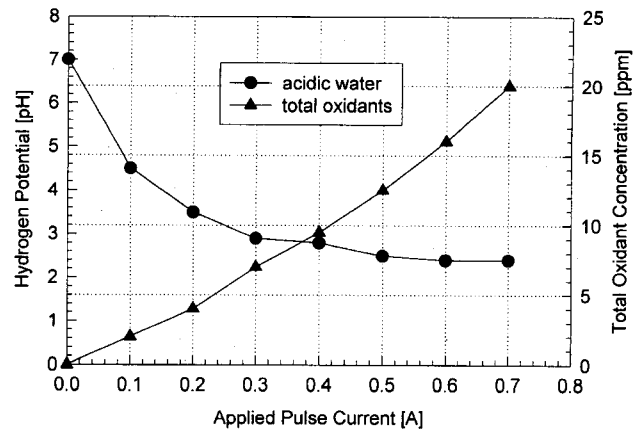


Fig. 1. Output pH and total oxidants in electrolytic water according to the function of applied pulse current.

전해수를 사용하였다.

전해수 제조기에서 전류를 0.2 A 이상 흐르게 하여 전해수를 pH 2.5, 3.0, 3.5로 조정하고, 역병균(*P. capsici*)의 유주자현탁액(10^5 개/ml) 1 ml를 각각의 pH별 산성전해수 9 ml에 희석한 다음, 1, 3, 5, 10분간씩 각각 처리하였고, 처리된 역병균 유주자 현탁액 1 ml를 PDA 배지에 각각 분주한 후 28°C의 항온기에서 48시간 배양하여 역병균 성장정도를 조사하였다.

대조구로는 멸균 증류수를 0.5 N HCl로 조정한 pH 2.5, 3.0, 3.5의 액과 멸균수(pH 6.5)에 역병균(*P. capsici*)의 유주자현탁액(10^5 개/ml) 1 ml를 희석한 다음, 1, 3, 5, 10분간씩 각각 처리하였고, 처리된 역병균 유주자 현탁액 1 ml를 PDA 배지에 각각 분주하여 28°C의 항온기에서 48시간 배양한 후 역병균 성장정도를 조사하였다. 모든 조사는 10 반복 실시하여 평균을 구하였다.

산성전해수 처리에 의한 고추역병 발병억제. 산성전해수 관주에 의한 역병 방제효과를 구명하기 위하여 직경 10 cm의 흑색 비닐 pot에 파종 후 50일 된 고추묘의 땅가 부위에 각 농도(10^{2-5} 개/ml)의 유주자 현탁액을 주당 5 ml 씩 접종하고, pH 2.5, 3.0, 3.5의 산성전해수 100 ml 씩을 비닐 pot에 관주하였으며, 대조구로는 지하수 (약 22°C)를 100 ml씩 관주하였다. 처리 결과 조사는 처리 5, 10, 15, 20일 후에 발병 정도를 조사하였다.

역병 발생조사는 지상부 줄기의 발병정도를 다음과 같이 4등급으로 나누어 조사하였다. 즉, 1) 땅가 부위에 병반이 보이지 않은 것, 2) 땅가 부위에 병반이 있으나 시들지 않는 것, 3) 땅가 부위에 병반과 함께 시드는 것, 4) 고사하는 것 등으로 발병정도의 등급을 정하였다.

한편, 식물체 뿌리의 감염상태를 알아보기 위하여 접종 20일 후에 화분에서 식물체를 뽑아내어 뿌리의 발병 정도를 다음과 같이 5등급으로 나누어 조사하였다. 즉, 1) 뿌리가 갈변되지 않는 것, 2) 약간의 갈변 내지 약 25% 정

도의 뿌리가 갈변된 것, 3) 약 50% 정도의 뿌리가 갈변된 것, 4) 약 75%의 뿌리가 갈변된 것, 5) 뿌리가 완전히 갈변된 것 등으로 등급을 나누었다.

결과 및 고찰

산성전해수 처리에 의한 유주자의 발육. 역병균의 유주자는 산성전해수에 처리하였을 경우에는 처리 시간에 관계없이 전혀 발육되지 않았으나 대조구인 0.5 N HCl로 멸균 증류수 pH를 2.5, 3.0, 3.5로 조정된 처리구 및 멸균수 처리구에서는 역병균 유주자의 발육이 양호하였다(Table 1, Fig. 2).

위의 결과에서 산성전해수가 역병균의 유주자에 1분만 작용하여도 충분한 살균력을 가진다는 것을 알 수 있었으며 이것은 산성전해수가 식물이나 동물에 강한 살균소독 효과가 있다는 一色由紀惠(6)의 보고 및 강전해수가 수초 이내에 병원균을 살균시키고, 바이러스까지도 불활성화 시킨다는 芝燁彦(17)의 보고와 같은 결과이다. 그러나 0.5 N HCl로 조정된 동일한 pH 농도에서 역병균은 모두 pH 6.5의 멸균수 처리구에서와 별 차이 없이 발육이 왕성하였는데 이것은 산성전해수가 pH에 의해 살균력을 가지는 것이 아니라 산성전해수에 용존하는

산화성 물질(O, O₃, H₂O₂, HClO 등)에 의한 살균효과라 생각된다.

산성전해수 처리에 의한 고추역병 발병억제. 고추역병균 유주자 농도를 10²⁻⁵개/ml로 조정하여 5 ml 씩 고추 유묘에 접종하고 산성전해수(pH 2.5, 3.0, 3.5)를 100 ml씩 관주한 결과, 접종 농도가 10²개/ml, 10³개/ml 일 경우에 있어서 산성전해수 처리구에서는 발병이 전혀 되지 않았으나, 대조구인 멸균수 처리구의 경우에는 10²개/ml 구에서 2.4의, 10³개/ml 구에서는 3.2의 발병정도를 나타내었다(Table 2). 그러나 접종 농도가 10⁴개/ml 이상일 때는 산성전해수 처리구에서도 고추에 감염이 일어났는데 이것은 산성전해수에서 살균효과를 나타내는 산화성 물질이 모든 유주자에 직접 작용하지 못해 살아남은 균에 의한 감염이라 생각된다.

각 처리구의 뿌리에 병원균의 감염상태를 조사하기 위해 역병균 접종 20일 후 비닐 pot에서 고추묘를 뽑아내어, 흐르는 수도물에 고추묘의 뿌리를 깨끗이 씻은 후 뿌리의 감염상태를 조사한 결과, 접종한 병원균 현탁액의 농도가 10³개/ml 이하 처리일 경우에는 산성전해수 처리구에서는 뿌리에서 전혀 병징이 나타나지 않았으나, 10⁴개/ml 이상의 처리구에서는 뿌리가 발병하였으며, 대조구인 멸균수 처리구에서는 접종한 병원균 현탁액 농도가 10³개/ml 이하에서도 뿌리에 갈변현상이 나타나서 역병균의 감염에 의한 발병을 확인하였다(Fig. 3).

Table 1. Effect of electrolytic water on growth of *Phytophthora capsici* on PDA

Treatment	pH	Treated time of zoospore suspension in electrolytic water (minutes)			
		1	3	5	10
Electrolytic water	2.5	0 ^{a)}	0	0	0
	3.0	0	0	0	0
	3.5	0	0	0	0
0.5 N HCl	2.5	885	900	921	891
	3.0	917	941	923	910
	3.5	1,053	988	1,090	997
Sterilized water	6.5	1,092	1,010	1,009	992

^{a)} Mycelial Colony numbers after 48 hours incubation on PDA.

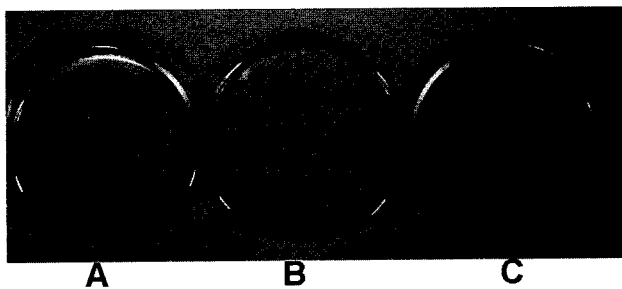


Fig. 2. Effect of electrolytic water on zoospores growth of *Phytophthora capsici* after 48 hours incubation on PDA. A; Electrolytic water (pH 3.0), B; HCl (pH 3.0), C; Sterilized water (pH 6.5).

Table 2. Effect of electrolytic water on occurrence of phytophthora blight of red pepper on pot

Treatment	pH	Inoculum concentration ^{a)}	Degrees of symptom on infected plants ^{b)}					
			Days after inoculation					
			5	10	15	20		
Electrolytic water	2.5	10 ²	1.0	1.0	1.0	1.0		
		10 ³	1.0	1.0	1.0	1.0		
		10 ⁴	1.0	1.0	1.8	1.8		
		10 ⁵	2.4	2.6	3.2	3.2		
		"	3.0	10 ²	1.0	1.0	1.0	1.0
"	3.0	10 ³	1.0	1.0	1.0	1.0		
		10 ⁴	2.0	2.2	2.4	3.0		
		10 ⁵	2.4	2.6	3.0	3.5		
		"	3.5	10 ²	1.0	1.0	1.0	1.0
		"	3.5	10 ³	1.0	1.0	1.0	1.0
10 ⁴	2.2			2.4	3.0	3.5		
10 ⁵	2.6			2.8	3.5	3.8		
Sterilized water	6.5			10 ²	1.4	1.6	1.8	2.4
				10 ³	1.8	2.0	2.4	3.2
		10 ⁴	2.2	2.4	3.0	3.4		
		10 ⁵	2.2	2.4	3.0	4.0		

^{a)} Numbers of zoospore / ml

^{b)} 1; No infection, 2; Partly infected but surviving plants, 3; Infected and wilting, 4; Completely killed and dried.

Table 3. Effect of electrolytic water on root rot of red pepper plants at 20 days after inoculation with *Phytophthora capsici*

Treatment	pH	Degree of root rot ^{a)}			
		Inoculum concentration ^{b)}			
		10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
Electrolytic water	2.5	1.0	1.0	2.2	4.0
	3.0	1.0	1.0	3.0	4.4
	3.5	1.0	1.0	4.0	4.6
Sterilized water	6.5	2.4	4.6	5.0	5.0

^{a)} 1; Healthy, 2; About 25% of root rot, 3; About 50% of root rot, 4; About 75% of root rot, 5; complete root rot.

^{b)} Numbers of zoospore/ml.

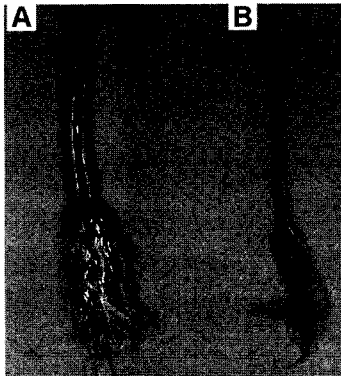


Fig. 3. Effect of electrolytic water on root rot of red pepper plants at 20 days after inoculation with *Phytophthora capsici* (10³ zoospores/ml). A; Electrolytic water (pH 2.5), B; Sterilized water (pH 6.5).

현재 우리나라의 고추 역병 방제체계는 주로 농약살포에 의한 화학적인 방제만이 이루어지고 있어 인축에 대한 중독, 농작물 잔류독성 및 농약의 하천유입에 의한 환경오염이 문제로 되고 있다. 그리하여 일부에서는 길항미생물을 이용한 생물학적 방제가 활발히 연구되고 있으나 전해수를 이용한 병해 방제에 대한 연구는 아직까지 국내에는 보고된 바 없다. 岩澤篤郎 등(9, 11)은 산화수가 항균작용이 있다고 하였으며, 芝燁彦 등(18)은 강산성전해수 중의 oxidants가 강력한 살균효과가 있다고 하였고, 김 등(7)은 고농도 전해수 발생장치에서 전해수 발생시 양극(+)측에서 강한 산성을 가지면서 살균력을 가지는 활성산소(O, O₃, H₂O₂)와 활성염소(HClO)가 다량 용존하게 된다고 하였다. 본 연구에서도 고추 역병균에 대한 산성전해수의 강한 살균력을 확인할 수 있었으며, 토양처리에서도 어느 정도까지는 병원균의 밀도를 떨어뜨릴 수 있었다. 그러나 산성전해수의 살균력을 농업에 응용하기 위해서는 산성전해수의 처리시기, 처리량 및 식물의 생육반응 등 많은 연구가 필요하다고 생각된다.

요 약

고추 역병균(*Phytophthora capsici*)의 발육과 감염에 미치는 산성 전해수의 영향을 구명하기 위해 전해수의 pH를 2.5, 3.0, 3.5로 조정하여 역병균 유주자를 현탁한 후, 현탁액을 potato dextrose agar 배지에 1 ml 씩 분주했을 때 역병균은 발육하지 못하였으나, 0.5 N HCl로 멸균 증류수 pH를 2.5, 3.0, 3.5로 조정한 대조구에서는 역병균의 발육이 양호하였다. 실제 토양에서 산성전해수의 처리시 역병균에 대한 살균력을 조사하기 위해 직경 10 cm의 흑색 비닐 pot에서 50일 육묘한 고추묘에 유주자 현탁액의 농도를 10²⁻⁵개/ml로 조정하여 5 ml씩 접종한 후 산성전해수를 100 ml 씩 관주하여 20일 후에 조사한 결과, 산성전해수 처리구에서는 접종된 유주자 현탁액의 농도가 10³개/ml 이하일 경우에는 고추 뿌리가 발병되지 않았으나, 10⁴개/ml 이상 처리구에서는 발병되었고, 대조구인 멸균수 관주구에서는 유주자 현탁액 농도가 10³개/ml 이하에서도 뿌리가 갈변하여 심하게 발병되었다.

감사의 말씀

본 연구는 1996년도 한국 농수산부 첨단기술개발사업 (# 296037-3)에 의해 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

1. Arnold, E. G. 1971. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 13th ed. pp. 271-273. Amer. Public Health Assn.
2. 淺井昭士郎. 1995. 酸化電位水による殺菌効果と変異原性の検討. 菌基礎誌 37:152-161.
3. Barksdale, T. H., Papavizas, G. S. and Johnston, S. A. 1984. Resistance to foliar blight and crown rot of pepper caused by *Phytophthora capsici*. *Plant Disease* 68:506-509.
4. 최우직, 박창석. 1982. 비닐하우스내 채소재배의 생육기별 역병 발생 상태에 관하여. 경상대학교 논문집 21:87-93.
5. 홍순성. 1990. 고추역병균 길항균 *Pseudomonas cepacia*의 입체제형 및 활성. 한국식물병리학회지 6(4):434-439.
6. 一色由紀惠. 1991. アクア酸化水による消毒の効果. 醫學検査 40:787.
7. 岩澤篤郎. 1993. アクア酸化水の抗菌生物効果. 臨床検査 37:918-919.
8. 岩澤篤郎. 1993. 臨床分離株に対するアクア酸化水の効果. 日環感 8:11-16.
9. 岩澤篤郎, 中村郎子. 1993. アクア酸化水の抗菌生物効果I -エンテウイルス, 抗酸菌, 真菌に對する作用-. 臨床と微生物 20:469-473.
10. 岩澤篤郎, 中村郎子. 1993. アクア酸化水の抗菌生物効果II -他消毒薬との並用-. 日環感 9:7-12.

11. 김충희, 김병수, 김승철. 1979. 고추역병에 대한 저항성 검정과 방제에 관한 시험. 농기연시험연구보고서 pp. 219-240.
12. 김진규, 문재덕. 1997. Pulse 전압에 의한 수중이온 분리특성. 전기학회 방전고전압연구회 pp. 202-212.
13. 김수순, 박창석, 최진식. 1985. 전염원의 농도, 고추묘령 및 온도가 고추역병 발생에 미치는 영향. 한국식물보호학회지 24: 117-121.
14. 경북농촌진흥원. 1997. 경북의 농업주요지표 pp. 2-3.
15. 농촌진흥청. 1995. 농작물 병해충 발생예찰 요강 p.77.
16. 박경석, 장성완, 김충희, 이은중. 1989. 고추역병에 대한 생물학적 방제 연구 III, *Phytophthora capsici*의 길항균 *Trichoderma harzianum*과 *Pseudomonas cepacia* 제형 및 보존. 한국식물병리학회지 5: 131-138.
17. 芝燁彦, 芝紀代子. 1996. 強電解水ハンドブック. 菌學情報社 pp. 23-33.
18. 유연현, 박성구, 최관순. 1981. 고추역병균(*Phytophthora capsici* Leonian)의 유주자낭 형성 및 균사 생장에 미치는 몇가지 요인. 한국식물보호학회지 20: 107-111.

(Received July 3, 1998)