

토양 pH 조절과 윤작에 의한 감자 더듬이병 방제

김점순* · 이영규 · 권민 · 김주일 · 이계준 · 이정태 · 류종수

국립식량과학원 고령지농업연구센터

Control of Common Scab of Potato Caused by *Streptomyces* spp. by Soil pH Adjustment and Crop Rotation

Jeom-Soon Kim*, Young-Gyu Lee, Min Kwon, Ju-Il Kim, Gye-Jun Lee, Jeong-Tae Lee and Jong-Soo Ryu

Highland Agriculture Research Center, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration (RDA), Pyeongchang 232-955, Korea

(Received on November 3, 2011; Revised on April 9, 2012; Accepted on April 13, 2012)

In 2006, the effect of soil pH adjustment on control of common scab of potato caused by *Streptomyces* spp. was evaluated in the field. Soil with an original pH 5.7 was treated with sulfur of 42 kg/10a and calcium hydroxide of 81.6 kg/10a and 184.5 kg/10a to adjust pH 5.0, 6.0 and 6.5, respectively. Additionally, the effect of gypsum (522 kg/10a) on soil pH and disease severity was examined. The soil pH of sulfur treatment plot was continuously declined from 5.13 at tuber initiation time to 5.01 at harvest. The disease severity of sulfur treatment plot was relatively low (22.8%) and the marketable yield of that was high (90.5%). By contrast, the soil pHs treated with calcium hydroxide (81.6 kg/10a and 184.5 kg/10a) were increased (pH 6.06 and 6.49, respectively) at harvest. In addition, calcium hydroxide treatment plots showed higher disease severities (51.0% and 61.1%), and lower marketable yields (55.7% and 37.0%). Meanwhile, the soil pH of gypsum treatment plot was not changed until harvest, and the disease severity and the marketable yield were not significantly different from those of control. The effect of crop rotation was also evaluated with four crops such as welsh onion, soybean, corn and Chinese cabbage. These crops were planted in the infested field from 2005 to 2007, and potatoes were planted in the same field in 2008. The disease severities of potatoes produced after rotations with welsh onion, soybean, corn and Chinese cabbage for 3 years were 13.1%, 16.7%, 28.9% and 30.2%, respectively. However, the disease severity of 73.1% was shown in continuous cropping of potato for 3 years. In addition, similar effects were exhibited in the marketable yield. These results demonstrate that the adjustment of soil pH and crop rotation might be very useful tools to control common scab of potato.

Keywords : Common scab, Crop rotation, Cultural control, Soil pH

서론

감자 더듬이병은 방선균인 *Streptomyces scabies*, *S. acidiscabies*, *S. turgidiscabies* 등에 의해 발생하는데(Lambert와 Loria, 1989a, 1989b; Miyajima 등, 1998) 우리나라에서도 발생이 보고되었다(김 등, 1998a; 1998b; 김과 이,

1996). 병원균은 덩이줄기의 피목, 상처, 기공 등을 통해 침입하고 토양수분, 바람에 날리는 토양, 감염된 덩이줄기 등으로 전염되며 가장 널리 분포하는 *S. scabies*는 토양 pH가 5.2로부터 7.0까지 증가함에 따라 발생이 증가하고, 부생성이 강해 극산성 토양을 제외하고 토양 속에서 오랫동안 생존할 수 있다(Agrios, 2005).

감자 더듬이병에 의한 피해는 임 등(1990)이 발병률이 12-71.5%라고 보고하였고, 이(1999)도 1996-1998년 더듬이병 발병률을 5-95%라고 보고하여 더듬이병에 의한 피해가 매우 심각하였음을 알 수 있다. 특히 홍(2003)은

*Corresponding author

Phone) +82-33-330-1980, Fax) +82-33-330-1519

Email) kimjs33@korea.kr

제주특별자치도의 가을감자 포장 중 66%가 20% 이상의 높은 발병률을 보였으며 심한 곳은 발병률이 90%에 달하였다고 보고하였으며 그 이유는 이 지역에서 감수성인 ‘대지’ 품종이 이모작으로 많이 재배되기 때문이라고 하였다. 지역별로 재배 품종과 기상 및 토양환경에 따른 발생 정도의 차이는 있으나 현재 더뎡이병은 전국적으로 감자에 큰 경제적 피해를 주는 병으로 인식되어 있다.

이 병의 방제를 위해서 국내외에서 다양한 재배적(홍등, 2003; Doyle과 Macclean, 1960; Hooker, 1956; Lambert와 Manzer, 1991), 생물적(Eckwall과 Schottel, 1997; Han 등, 2005; Liu 등, 1995), 화학적(임 등, 1990; Kritzman과 Grinstein, 1991; Potter 등, 1958) 방제법이 보고되었으나 병원균의 생존기간이 길어(Agrios, 2005; Rich, 1983) 실용적으로 성공한 예가 거의 없고, 국내외에 등록된 약제도 없는 실정이다. 현재까지 효과가 인정되어 권장되어 온 몇 가지 방제법은 산성비료나 유황 등을 이용하여 토양 pH를 5.2 미만으로 낮추는 방법(Doyle와 Maclean, 1960; Duff 등, 1927; Muncie 등, 1944), 덩이줄기 형성기에 4-6주 정도 수분을 공급하는 방법(Hooker, 2001; Lapwood와 Hering 등, 1970)과 콩, 알팔파 등으로 3-4년간 윤작을 하는 방법(Hooker, 2001; Lacey, 2000) 등이다. 그 중 덩이줄기 형성기에 수분을 공급하는 방법은 대부분의 감자 재배지가 관수시설이 되어 있지 않은 노지이고, 감자 역병 등의 병해 감염이 우려되는 등 실행하기가 현실적으로 어렵다.

따라서 본 연구는 더뎡이병의 방제를 위해 국내에서 활용할 수 있는 단기적인 방법인 토양 pH 조절과 장기적인 방법인 몇 가지 윤작작물을 활용하는 방법을 검토하였다.

재료 및 방법

토양 pH 조절. 강원도 강릉시 병산동에 위치한 고령지 농업연구센터의 더뎡이병 상습 발생지에서 실시하였다. 실험 전 토양의 pH는 5.7이었으며 이를 pH 5.0, 6.0, 6.5로 조절하고자 하였다. 토양 pH를 5.0으로 조절하기 위해 유황(MIDAS SP200, 순도 99.9%, 미원상사㈜)의 소요량을 Mitchell(2000)의 방법에 의해 42 kg/10a으로 산출하

였으며, pH를 6.0과 6.5로 조절하기 위해서는 ORD법(농촌진흥청, 2000)으로 15 cm 깊이로 혼화할 때의 석회소요량을 산출하여 각각 81.6 kg/10a과 184.5 kg/10a의 소석회(소석회, 칼슘 60% 이상, 백광소재(주))를 파종 2주일 전인 3월 9일에 토양에 혼화처리 하였다. 석고(황산칼슘, CaSO₄)는 칼슘과 유황성분을 포함하고 있는데 토양 pH는 높이지 않고 더뎡이병 방제에 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Davis 등, 1974). 이에 농용석고(칼슘 23%, 유황 13% 함유, 남해화학(주))를 소석회의 감자 표준시용량(200 kg/10a)에 준하여 522 kg/10a를 처리하였다. 시험 품종은 더뎡이병에 감수성인 ‘대지’로 하였으며 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 하였다. 3월 23일 파종하여 농촌진흥청 표준재배법(2003)에 준하여 재배하고 7월 7일 수확하여 발병 정도와 수량성 등을 조사하였다. 감자 재배 기간 동안 토양을 수회 채취하여 pH를 농촌진흥청(2000)의 분석기준에 따라 토양과 증류수를 1:5의 비율로 섞어 pH meter(Fisher Scientific, Accumet model 15, USA)로 측정하였다.

윤작작물 재배. 윤작작물로는 콩, 배추, 파, 옥수수를 선택하였다. 시험포장은 강원도 평창군 대관령면 황계리 고령지농업연구센터 구내에 위치하며 유기물 함량이 다소 낮은 사양토로서 토양 pH가 6.0-6.2인 더뎡이병 발생지였다(Table 1). 2005년부터 2008년까지 윤작작물을 1-3년 동안 재배한 뒤 감자를 재배하여 작물별 더뎡이병 발생 정도를 조사하였다. 작물별로 감자(대지)는 5월 상순에 75×25 cm 간격으로 파종, 파(흑금장대파)는 5월 중순에 75×1-2 cm 간격으로 정식, 콩(두유콩)은 5월 중순에 60×20 cm 간격으로 직파, 옥수수(미백찰옥수수)는 5월 중순에 60×25 cm 간격으로 직파, 배추(CR 여름맛)는 6월 중순에 65×35 cm 간격으로 정식하여 재배하였다. 시험구는 구당 36 m²로 하여 분할구계획법으로 수행하였다.

감자 더뎡이병 발생 조사. 수확 직후 각 시험구별로 50 g 이상의 덩이줄기를 대상으로 덩이줄기별 병반 면적률을 지수 0(병반 없음), 1(병반 면적률 0.1-5% 미만), 2(병반 면적률 5-10% 미만), 3(병반 면적률 10-20% 미만), 4(병반 면적률 20% 이상)로 구분하여 조사하였다. 이를 발병률(%), 병반형성 덩이줄기 개수/총 덩이줄기 개

Table 1. Soil characteristics of the experimental field for crop rotation

Soil texture	pH (1:5)	OM (g/kg) ^a	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg) ^b	Ex. Cation (cmol ⁺ /kg) ^c		
				K	Ca	Mg
Sandy loam	6.0-6.2	21	508	0.4	8.1	1.0

^aOM: Organic matter.

^bAv. P₂O₅: Available phosphate.

^cEx. Cation: Exchangeable cation.

수×100), 발병도[%], (0n)+(1n)+(2n)+(3n)+(4n)/(총 덩이줄기 개수×4)×100, n: 각 지수에 해당하는 덩이줄기 개수], 상품률(%), 병반 면적을 0-2에 해당하는 덩이줄기 무게/총 덩이줄기 무게×100)로 산출하였다. 시험에서 얻은 결과들은 SAS 프로그램(ver. 9.1)을 이용하여 Tukey의 다중검정법(P=0.05)으로 비교하였다.

결과 및 고찰

토양 pH 조절에 의한 방제 효과. 시험 전 pH가 5.7이었던 토양을 pH 5.0, 6.0, 6.5로 조절하고자 유황과 소석회를 처리한 결과 유황처리구(42 kg/10a)는 처리 2주 후인 파종기에 pH가 5.56, 덩이줄기 형성기에 5.13, 비대기에 5.02, 수확기에 5.01을 나타내었다. 반면 소석회를 81.6 kg/10a과 184.5 kg/10a 처리한 구에서는 파종기의 pH가 6.12와 6.47이었으나 덩이줄기 형성기에는 6.28과 6.60으로 높아졌다가 비대기에는 6.09와 6.52, 수확기에는 6.06과 6.49로 다시 낮아졌다(Fig. 1). 수확기의 더듬이병 발생 정도는 유황처리구에서 22.8%의 발병도를 나타내어 무처리의 발병도 31.2%에 비해 낮았다. 한편 소석회를

81.6 kg/10a과 184.5 kg/10a 처리한 구에서는 발병도가 각각 51.0, 61.1%로 나타나 무처리의 31.2%보다 유의하게 높았고 토양 pH가 높을수록 발병이 심해지는 것을 확인할 수 있었다(Table 2). Muncie 등(1944)은 pH가 4.5인 토양에 724 kg/ha의 유황을 처리하였을 때 수확기의 pH는 4.0이었으며 건전 괴경이 무처리보다 49% 더 많았다고 보고하였다. Davis 등(1974)은 pH 7.7인 토양에 672.5 kg/ha의 유황을 처리하였을 때 토양 pH의 변화는 0.4 정도였으며 무처리에 비해 21%의 더듬이병 감소효과가 있었다고 하였다. Vlitos와 Hooker(1951)도 유황의 더듬이병 방제효과를 보고하였고 그 기작을 밝히고자 하였다. 이들은 유황을 처리하였을 때 pH의 변화 이전에 방선균의 밀도가 감소하고 다른 세균들의 밀도는 증가하는 것을 발견하고 유황성분의 더듬이병 방제 효과는 pH를 낮추는 효과 외에 병원균에 대한 직접적인 억제효과가 있을 것으로 생각하였다. 그러나 유황을 첨가한 배양기 내에서 뚜렷한 병원균 억제효과를 얻지는 못하였으며 유황의 더듬이병 방제효과는 작물의 생리와 근권 미생물에 미치는 영향 때문일 것으로 추정하였다. Muncie 등(1944)과 Davis 등(1974)의 연구에서 유황처리량은 본 실험보다 훨씬 많은 양이나 pH의 변화는 더 적었는데 이는 토성에 따른 완충력의 차이 때문으로 생각되며 향후 이에 대한 자세한 검토가 이루어져야 할 것으로 생각된다. 유황처리에 따른 감자의 총수량은 소석회 처리보다 낮은 경향이었으나 상품수량은 유황처리에서 90.5%로 소석회 처리의 55.7%와 37.0%에 비해 월등히 높았다(Table 2). 이상에서와 같이 유황을 이용하여 토양 pH를 5.0 정도로 낮추어 주면 더듬이병 발병이 억제되어 상품수량을 높일 수 있을 것으로 생각되어 이를 단기적인 방제대책으로 활용할 것을 제안한다. 다만 감자가 더듬이병에 가장 잘 감염되는 시기는 덩이줄기 형성기(Lapwood 등, 1973)로 ‘대지’ 품종의 경우 파종 후 45-50일경이며 이로부터 덩이줄기 비대기인 파종 후 70-80일까지 감염이 활발히 진행되므로 유황을 이용할 때는 처리시기를 본 실험보다 2주일 정도

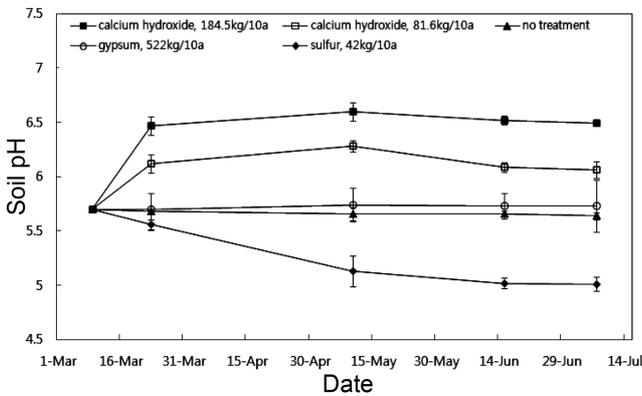


Fig. 1. Changes of pH in the field soil amended with calcium hydroxide, gypsum or sulfur. Bars represent the standard error of the mean.

Table 2. Incidence of common scab by application of pH amendments

Treatment	Disease severity (%)	Disease incidence (%)	Total yield (kg/10a)	Marketable yield (%)
Sulfur (42 kg/10a)	22.8 b ^a	69.6 b	3,404 a	90.5 a
Calcium hydroxide (81.6 kg/10a)	51.0 a	92.3 ab	3,836 a	55.7 bc
Calcium hydroxide (184.5 kg/10a)	61.1 a	97.7 a	3,872 a	37.0 c
Gypsum (522 kg/10a)	30.5 b	74.9 ab	3,524 a	87.2 a
Control (untreated)	31.2 b	75.2 ab	3,489 a	86.3 ab

^aMeans followed by the same letters within a column are not significantly different by Tukey's studentized range test at 5% level.

앞당긴 파종 전 1개월로 하면 덩이줄기 비대기에 pH를 5.0 부근으로 낮춰 방제효과가 좀 더 높아질 것으로 생각된다. 한편, 석고처리에 따른 토양 pH는 덩이줄기 형성기에 5.74, 수확기에 5.73으로 큰 변화가 없었으며 무처리도 덩이줄기 형성기에 5.66, 수확기에 5.64로 거의 변화가 없었다(Fig. 1). 더텡이병 발병도는 석고처리구에서 30.5%로 나타나 무처리구와 유의적인 차이가 없었으며 상품수량도 유사하였다(Table 2). Davis 등(1974)은 석고를 유향과 동일한 양으로 처리하였을 때 토양 pH의 변화는 0.1 정도였고 무처리에 비해 더텡이병 발생이 21% 감소하였다고 보고하여 pH의 변화 부분은 본 시험과 유사하였으나 방제효과에 있어서는 본 시험 결과와 달랐다. Lambert와 Manzer(1991)는 pH 4.2인 토양에 6,400 kg/ha의 석고(칼슘 24% 함유)를 처리하였을 때 pH는 변하지 않았으며 더텡이병의 발생도 증감이 없었다고 보고하여 본 시험과 유사한 결과를 얻은 바 있다. 칼슘은 감자에서 무름병 등의 발생을 억제하고(McGuire와 Kelman, 1984, 1986) 작물의 저장기간을 늘려주며(Poovaiah, 1986; 1988), 부족할 때에는 감자의 덩이줄기 내부에 갈색반점을 형성하는 생리장해를 유발하기도 한다(Tzeng 등, 1986). 그러나 칼슘 공급을 위한 소석회의 사용은 본 시험의 결과에서와 같이 토양의 pH를 높여 더텡이병 발생을 증가시키므로 감자재배 농가에서는 사용하기 어렵다. 따라서 석고를 처리하면 pH의 증가로 인한 더텡이병 발생의 부담없이 칼슘을 토양에 공급할 수 있을 것으로 생각된다.

윤작에 의한 방제 효과. 더텡이병의 방제를 위하여 파, 콩, 옥수수, 배추 등의 작물을 1-3년 동안 재배하고 감자를 재배한 후 더텡이병의 발생정도를 조사하였다(Table 3). 윤작 작물을 1년 재배한 후 감자를 재배하였을 때는 더텡이병의 발병도가 파와 콩에서 각각 24.5%와 27.7%로 감자 연작구의 55.6%에 비해 절반이상 감소하였으며 옥수수와 배추에서도 각각 37.4%와 40.4%로 연작구에 비해 유의성 있는 감소를 보였다. 상품수량도 파와 콩에서 88.2, 81.1%로 연작구의 51.1%보다 월등히 높았다. 파와 콩을 2년 재배한 후 감자를 재배하였을 때의 발병도는 각각 20.2%와 16.6%였으며 3년 재배한 후 감자를 재배하였을 때는 13.1%와 16.7%로 점차 낮아지거나 유지되는 경향이였다. 상품수량에 있어서도 파와 콩을 2년 윤작한 경우 각각 92.7%와 94.8%, 3년 윤작한 경우 각각 99.4%와 96.4%로 발병도 감소에 따른 상품수량의 증가를 확인할 수 있었다. 반면 감자 연작의 경우 2년과 3년의 연작에서 발병도가 각각 64.6%와 73.1%로서 연작할수록 발병도가 점차 높아지는 것을 알 수 있었으며 그에 따라 상품수량도 47.8%와 21.5%로 감소하는 것을 알 수 있었다.

Table 3. Disease incidence and potato yield by cultivation of rotation crops for 3 years

Crop (A)	Cultivation period (B)	Disease severity (%)	Disease incidence (%)	Marketable yield (w/w, %)
Welsh onion	1 year	24.5	51.0	88.2
	2 year	20.2	54.0	92.7
	3 year	13.1	48.0	99.4
	Average	19.3 c ^a	51.0 c	93.4 a
Soybean	1 year	27.7	54.2	81.1
	2 year	16.6	49.6	94.8
	3 year	16.7	50.2	96.4
	Average	20.3 c	51.3 c	90.8 ab
Corn	1 year	37.4	84.7	74.7
	2 year	30.5	73.1	79.3
	3 year	28.9	60.8	83.4
	Average	32.3 b	72.9 b	79.1 bc
Chinese cabbage	1 year	40.4	82.8	72.3
	2 year	33.3	73.2	78.6
	3 year	30.2	68.3	81.1
	Average	34.6 b	74.8 b	77.3 c
Potato	1 year	55.6	89.0	51.1
	2 year	64.6	97.4	47.8
	3 year	73.1	97.0	21.5
	Average	64.4 a	94.5 a	40.1 d
A		** ^b	**	**
B		ns	ns	ns
A×B		ns	ns	**

^aMeans followed by the same letters within a column are not significantly different by Tukey's studentized range test at 5% level.
^b** and ns represent significantly different at 1% level and not significantly different at 5% level, respectively.

옥수수와 배추의 2, 3년 윤작에서도 연작구에 비해 유의성 있는 발병도 감소와 상품수량 증가를 보여 비기주 작물을 이용한 윤작이 발병 감소에 효과가 있음을 알 수 있었다. 그러나 작물별 윤작기간에 따른 더텡이병의 발생은 2년 윤작하였을 때까지는 감소하는 경향이였으나 3년 윤작하였을 때는 감소폭은 크지 않았으며 유의성이 인정되지 않았다. 윤작작물을 이용한 더텡이병의 방제에 대해 홍(2001)은 제주도에서 2년간 볏, 가을에 각각 보리와 콩을 재배한 후 3년째 감자를 재배한 결과 발병도가 증가하고 방제기도 낮아 효과가 없었다고 보고한 바 있다. Weinhold 등(1964)은 보리, 면화, 사탕무로 격년 윤작할 때 감자를 심은 햇수에 비례하여 더텡이병은 점차 증가하는 경향이였으나 2년간 알팔파를 재배하고 3년째에 감자를 재배하는 형태의 윤작을 할 때에는 13년 동안 더텡

이병이 거의 증가하지 않았다고 보고하였다. 또한 콩을 재배하여 녹비로 토양에 투입했을 때 더뎡이병 발병도를 1% 정도로 유지하며 13년 동안 효과적으로 억제하였다고 보고하였다. Goss와 Afanasiev(1938)는 사탕무로 단기간 윤작했을 때 발병이 심했고 알팔파로 4-6년간 윤작했을 때 가장 방제효과가 높았다고 하였다. Wheeler(1946)도 알팔파로 3년간 윤작하였을 때는 더뎡이병 발생이 증가되지 않았으나 스위트클로버로 2년간 윤작했을 때는 더뎡이병 발생이 크게 증가했다고 하여 윤작 작물에 따라 방제효과에 차이가 있음을 보고하였다. 한편 Werner(1944) 등은 3년 동안 윤작한 밭에서 더뎡이병이 감소했다고 하였고, Hooker(1956)도 양파, 옥수수, 콩 등 작물의 종류에 관계없이 윤작 기간이 발병 감소에 큰 영향을 주었다고 보고하였다. 이러한 윤작의 효과에 대해서 Menzies(1959)는 윤작 작물들이 재배 중 분비하거나 잔재에 있던 물질이 토양 내에서 직접 또는 유용 미생물을 활력을 높여 병을 억제하기 때문이라고 하였다. 현재까지 윤작 효과에 대한 뚜렷한 기작이 밝혀져 있지는 않지만 비기주 작물의 재배는 병원균의 밀도를 일정 수준 이하로 유지시켜 발병을 감소시키는 것으로 생각된다. 따라서 본 연구결과와 같이 더뎡이병의 발생이 심하거나 감수성 품종을 재배한 밭에서는 윤작을 피하고 파나 콩을 비롯한 비기주 작물로 2-3년간 윤작을 하면 더뎡이병의 발생을 줄이고 상품성 있는 감자의 수량을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

요 약

감자 더뎡이병 방제에 대한 토양 pH 조절의 효과를 더뎡이병에 감염된 포장에서 2006년 평가하였다. 원래 pH가 5.7이었던 토양을 pH 5.0, 6.0, 6.5로 조절하고자 유향(42 kg/10a)과 소석회(81.6 kg/10a, 184.5 kg/10a)를 처리하였고 석고(522 kg/10a)도 토양 pH와 더뎡이병 발생에 미치는 영향을 구명하고자 처리하였다. 유향처리구의 토양 pH는 괴경형성기에 5.13, 수확기에는 5.01로 지속적으로 감소하였다. 또한 괴경의 발병도는 22.8%로 상대적으로 낮았으며 90.5%의 높은 상품수량을 나타내었다. 반면 소석회를 81.6 kg/10a과 184.5 kg/10a 처리한 구의 토양 pH는 수확기에 6.06과 6.49로 증가하였고, 각각 51.0%와 61.1%의 높은 발병도와 55.7%와 37.0%의 낮은 상품수량을 보였다. 한편 석고처리구는 수확기까지 토양 pH의 변화가 거의 없었으며 발병도와 상품수량도 무처리구와 유의적인 차이가 없었다. 감자 더뎡이병의 방제를 위하여 윤작작물을 2005년부터 2007년까지 재배하고 2008년에 감자를 재배하였다. 3년 윤작 후의 발병도는 파, 콩, 옥수

수, 배추 시험구에서 각각 13.1%, 16.7%, 28.9%, 30.2%로 감자 윤작구의 73.1%에 비해 상당히 낮았으며 상품수량도 이와 유사한 경향을 보였다. 본 연구 결과에서 살펴본 바와 같이 토양 pH의 조절과 윤작은 감자 더뎡이병 방제를 위해 단장기적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ006498)", National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Agrios, G. N. 2005. Plant Pathology. 5th edition. Elsevier Academic Press, Burlington, USA. pp. 674-675.
- David, J. R., Garner, J. G. and Callihan, R. H. 1974. Effects of gypsum, sulfur, terraclor and terraclor super-X for potato scab control. *Am. Potato J.* 51: 35-43.
- Doyle, J. J. and Maclean, A. A. 1960. Relationships between Ca:K ratio, pH, and prevalence of potato scab. *Can. J. Plant Sci.* 40: 616-619.
- Duff, G. H. and Welch, C. G. 1927. Sulphur as a control agent for common scab of potato. *Phytopathology* 17: 297-314.
- Eckwall, E. C. and Schottel, J. L. 1997. Isolation and characterization of an antibiotic produced by the scab disease-suppressive *Streptomyces diastatochromogenes* strain PonSSII. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 19: 220-225.
- Goss, R. W. and Afanasiev, M. M. 1938. Influence of rotations under irrigation on potato scab, Rhizoctonia and Fusarium wilt. *Neb. Agr. Expt. Sta. Bull.* 317: 181.
- Han, J. S., Cheng, J. H., Yoon, T. M., Song, J., Rajkarnikar, A., Kim, W. G., Yoo, I. D., Yang, Y. Y. and Suh, J. W. 2005. Biological control agent of common scab disease by antagonistic strain *Bacillus sp. sunhua*. *J. Appl. Microbiol.* 99: 213-221.
- Hong, S. Y. 2001. Developmental characteristics and control of potato common scab in Jeju Island. Ph.D. thesis. Jeju National University. Jeju, Korea. (In Korean)
- Hong, S. Y., Kang, Y. K. and Hahm, Y. I. 2003. Developmental characteristics of potato common scab in Jeju Island. *Res. Plant Dis.* 9: 137-144. (In Korean)
- Hooker, W. J. 1956. Survival of *Streptomyces scabies* in peat soil planted with various crops. *Phytopathology* 46: 677-681.
- Hooker, W. J. 2001. Compendium of potato diseases. 2nd Edition. APS Press, St. Paul, MN, USA. pp. 14-15.
- Kim, J. H. and Lee, W. H. 1996. Characteristics of potato common scab pathogens from continuous cropping fields in

- Korea. *Korean J. Plant Pathol.* 12: 109–115. (In Korean)
- Kim, J. S., Park, D. H., Choi, Y. C., Lim, C. K., Hong, S. Y., Lee, S. D., Hahm, Y. I. and Cho, W. D. 1998b. Potato scab caused by *Streptomyces acidiscabies*. *Korean J. Plant Pathol.* 14: 689–691. (In Korean)
- Kim, J. S., Park, D. H., Lim, C. K., Choi, Y. C., Hahm, Y. I. and Cho, W. D. 1998a. Potato common scab by *Streptomyces turgidiscabies*. *Korean J. Plant Pathol.* 14: 551–554. (In Korean)
- Kritzman, G. and Grinstein, A. 1991. Formalin application against soil-borne *Streptomyces*. *Phytoparasitica* 19: 248. (Abstract)
- Lacey, M. J. 2000. Studies on common scab of potato. PhD thesis. University of Tasmania, Australia. 203 pp.
- Lambert, D. H. and Loria, R. 1989a. *Streptomyces scabies* sp. nov. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 39: 387–392.
- Lambert, D. H. and Loria, R. 1989b. *Streptomyces acidiscabies* sp. nov. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 39: 393–396.
- Lambert, D. H. and Manzer, F. E. 1991. Relationship of calcium to potato scab. *Phytopathology* 81: 632–636.
- Lapwood, D. H. and Hering, T. F. 1970. Soil moisture and the infection of young potato tubers by *Streptomyces scabies* (common scab). *Potato Res.* 13: 296–304.
- Lapwood, D. H., Wellings, L. W. and Hawkins, J. H. 1973. Irrigation as a practical means to control potato common scab (*Streptomyces scabies*). *Plant Pathol.* 22: 35–41.
- Lee, S. D. 1999. Occurrence and characterization of major plant bacterial diseases in Korea. Ph.D. thesis. Seoul National University, Seoul, Korea. (In Korean)
- Liu, D., Anderson, N. A. and Kinkel, L. L. 1995. Biological control of potato scab in the field with antagonistic *Streptomyces scabies*. *Phytopathology* 85: 827–831.
- McGuire, R. G. and Kelman, A. 1984. Reduced severity of *Erwinia* soft rot potato tubers with increased calcium content. *Phytopathology* 74: 1250–1256.
- McGuire, R. G. and Kelman, A. 1986. Calcium in potato tuber cell walls in relation to tissue maceration by *Erwinia carotovora* pv. *atroseptica*. *Phytopathology* 76: 401–403.
- Menzies, J. D. 1959. Occurrence and transfer of a biological factor in soil that suppresses potato scab. *Phytopathology* 49: 648–652.
- Mitchell, C. C. 2000. Soil acidity and liming - Part 2. Lowering soil pH. Extension Service, Clemson University. (<http://hubcap.clemson.edu/~blprrt/acidity2.html>)
- Miyajima, K., Tanaka, F. and Kuninaga, F. 1998. *Streptomyces turgidiscabies* sp. nov. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 48: 495–502.
- Muncie, J. H., Moore, H. C., Tyson, J. and Wheeler, E. J. 1944. The effect of sulphur and acid fertilizer on incidence of potato scab. *Am. Potato J.* 21: 293–304.
- National Institute of Agricultural Science and Technology. 2000. Methods of soil chemical analysis. Suwon, Korea. pp. 122–123. (In Korean)
- Poovaiah, B. W. 1986. Role of calcium in prolonging storage life of fruits and vegetables. *Food Technol.* 40: 86–89.
- Poovaiah, B. W. 1988. Molecular and cellular aspects of calcium action in plants. *HortScience* 23: 267–271.
- Potter, H. S., Hooker, W. J., Cargo, W. and Stachwick, G. T. 1958. Pentachloro nitrobenzene and urea-formaldehyde for potato scab control in Michigan. *Plant Dis. Rep.* 43: 633–637.
- Rich, A. E. 1983. Potato diseases. Academic Press, Inc., New York, NY, USA. 238 pp.
- Rural Development Administration. 2003. Standard farming textbook 31. ‘Potato Cultivation’. Suwon, Korea. (In Korean)
- Tzeng, K. C., Kelman, A., Simmons, K. E. and Kelling, K. A. 1986. Relationship of calcium nutrition to internal brown spot of potato tubers and sub-apical necrosis of sprouts. *Am. J. Potato Res.* 63: 87–97.
- Vlitos, A. J. and Hooker, W. J. 1951. The influence of sulfur on populations of *Streptomyces scabies* and other Streptomycetes in peat soil. *Am. Potato J.* 38: 678–683.
- Waksman, S. A. 1921. The influence of soil reaction upon the growth of Actinomycetes causing potato scab. *Rutgers College Studies* 1: 61–79.
- Weinhold, A. R., Oswald J. W., Bowman, T., Bishop, J. and Wright, D. 1964. Influence of green manures and crop rotation on common scab of potato. *Am. Potato J.* 41: 265–273.
- Werner, H. O., Kiesselbach, T. A. and Goss, R. W. 1944. Dry-land crop rotation experiments with potatoes in northwestern Nebraska. *Neb. Agr. Expt. Sta. Bull.* 363: 43.
- Wheeler, E. J. 1946. The residual effect of crop rotations on potato yield and the presence of potato scab. *Mich. Agr. Expt. Sta. Quart. Bull.* 28: 1–7.
- Yiem, M. S., Kim, S. Y., Kim, J. G. and Choi, Y. H. 1990. Research on ecology and control of potato common scab. In: Research Report. National Horticultural Experiment Station, RDA, Suwon, Korea. pp. 324–339. (In Korean)