

## 윤작이 감자 수량, 토양 화학성 및 미생물 활성에 미치는 영향\*

김유경\*\* · 강호준\*\*\* · 양상호\*\*\* · 오한준\*\*\* · 이신찬\*\*\* · 강성근\*\*\* · 김형신\*\*\*\*

### Effects of Crop Rotations on Potato Yield, Soil Chemical and Microbiological Properties in Organic Farming System

Kim, Yu-Kyoung · Kang, Ho-Jun · Yang, Sang-Ho · Oh, Han-Jun ·  
Lee, Shin-Chan · Kang, Seong-Keun · Kim, Hyung-Sin

The objective of this study was to determine crop rotation effects on potato yield, soil chemical and microbiological properties from a short-term field experiment from 2010 to 2011 in Jeju Island, Korea. Potato cropping systems included continuous and rotation sequences of soybean (*Glycine max*(L.) Merr.), barley (*Hordeum vulgare* var. *hexastichon*), rapeseed (*Brassica napus* L.) and broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). Crop rotations increased the yields of potato from 31% to 52% compared with continuous potato. Marketable yield of potato was highest under soybean plus rapeseed rotation by 20.97MT ha<sup>-1</sup> and lowest under continuous cropping by 11.95MT ha<sup>-1</sup>. The incidence and severity of scab disease was significantly lower in tubers from crop rotation with soybean plus barley. Differences in marketable tuber yields among rotations were associated with potato scab disease. Especially, incidence and severity of potato scab were strongly correlated with soil pH, exchangeable calcium, and bacteria population of the soil. Crop rotations significantly increased soil pH, available phosphate, exchangeable K and Ca, especially in crop rotations with soybean plus barley or rapeseed. Soil microbial biomass C of crop rotations with soybean plus barley or rapeseed, was also significantly higher compared with monoculture. In conclusion, crop rotation may decrease the incidence of soil-born pathogen by increasing soil chemical properties and soil microbial biomass. Overall, potato crop productivity was

\* 본 연구는 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호 : PJ007324)의 지원에 의해 이루어진 것임.

\*\* Corresponding author, 제주특별자치도 농업기술원 친환경연구과(kyk555@korea.kr)

\*\*\* 제주특별자치도 농업기술원 친환경연구과

\*\*\*\* 제주친환경농업학교

generally maintained in rotations that contained soybean plus barley or rapeseed but declined under continuous cropping system.

Key words : *crop rotation, potato, barley, rapeseed, soybean, scab disease, soil microbial biomass C*

## I. 서 론

감자(*Solanum tuberosum* L.)는 가지과에 속하는 다년초본성 식물로 제주지역에서 매우 중요한 소득작물이다. 현재 재배면적은 2,700ha 정도이나 최근 생산량 및 재배면적이 점차 감소하고 있다(Kim, 2011). 감자 생산량 감소는 여러 가지 요인 중에서 연작에 따른 수량감소와 토양병해 증가가 그 주요 원인이 되고 있다. 특히 제주지역은 봄(겨울), 가을 2기작이 가능하고 더뎡이병에 감수성이 큰 대지(Dejima) 품종을 최근 수년동안 씨감자로 사용하고 있어 토양병인 더뎡이병 발생이 다른 지역 보다 심한 실정이다(Kim *et al.*, 2004). 또한 감자 유기재배 농가에서도 연작과 유기질비료 위주의 단순한 토양 및 양분관리로 관행재배 농가와 마찬가지로 수량이 감소하고 토양병 발생이 증가하고 있다.

윤작은 환경을 보전하면서 농업활동을 유지하는데 필요한 핵심기술의 하나이며, 합리적인 작부체계는 지력의 유지 및 증진에 크게 기여한다고 잘 알려져 있다(Karlen & Cambardella, 1996). 특히 작물의 잔사나 토양 유기물의 저장은 토양의 물리적 특성 변화에 영향을 주며(Carter, 2002), 토양 병해를 감소시키는 효과가 있다(Pedersen & Hughes, 1992; Scholte, 1987). 또한 유기재배에서 작부체계를 잘 설계하면 관행재배 보다 토양에서 발생하는 병 발생 정도를 감소시킬 수 있다는 연구들이 보고되고 있다(Workneh and Bruggen, 1994). 그리고 작부체계 내에서 토양미생물 변동상을 이해하면 수량 감소를 최소화하면서도 가장 효율적인 윤작 시스템을 설계하는데 도움이 된다(Shuijin Hu *et al.*, 2006). 최근 토양 미생물 다양성에 대한 중요성이 점차 부각되고 많은 연구들이 진행되고 있는데, 특히 유기재배 토양에서 미생물은 유기물의 무기화 과정을 통해서 작물에 양분을 공급하는 역할을 할 뿐만 아니라(Smith and Paul, 1990) 일시적인 양분의 저장고 역할을 통해서 양분 보유능을 증가시켜서 토양양분의 유실을 저감시켜준다(Dalal, 1998; Friedel *et al.*, 2001). 또한 토양 미생물은 주로 길항작용이나 양분의 경합을 통해서 토양에서 유래되는 식물 병원균 발생을 억제해주는 역할을 하는데, Chen 등(1988)은 유기재배 토양에서 높은 토양 미생물체량과 활성 그리고 다양성은 낮은 병발생과 상관관계가 있다고 보고하였다.

Keller 등(1989)은 감자 재배지에서 윤작의 기간과 감자 재배 빈도는 감자의 병 발병률 뿐만 아니라 토양의 질과 관련이 있다고 보고하였으며, Celetti 등(1990)도 윤작에 도입되는 작물은 토양의 미생물 활성에 영향을 주며 또한 토양 병원균의 밀도에도 영향을 줄 수 있

다고 제시하였다. 그리고 Peters 등(2003)은 보리와 감자 또는 보리, 레드클로버와 감자를 2년 또는 3년 윤작처리한 결과 canker와 Black scurf 등과 같은 토양병 발생이 감소하였고, 윤작처리구내의 근권 세균들이 토양병에 길항력을 갖는 항균활성이 높다고 보고하였다. Larkin과 Griffin(2007)은 Brassica 속 작물을 녹비로 이용하여 윤작하면 다양한 토양 병 발생을 감소시킬 수 있다고 보고하였는데, 병 발생을 감소시키는 기작은 휘발성 황 화합물 생성에 의한 생물학적 훈증에 기인하는 것이라고 제시하였다.

따라서 본 시험은 윤작을 위해 전작기 도입된 콩, 보리 그리고 유채 등 작물이 후작물인 감자의 수량성과 토양 화학성 및 미생물 활성 변화에 미치는 영향을 검토하고 제주지역에 알맞은 감자 유기재배 윤작체계를 확립하고자 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 시험포장 및 공시종자

시험은 제주시 한림읍 유기재배 농가 포장에서 2010년 봄부터 2011년 가을까지 2년간 수행하였다. 공시토양의 pH는 6.23, 전기전도도(EC)는 0.59dS m<sup>-1</sup> 그리고 유기물 함량은 46.0g kg<sup>-1</sup>이었으며, 유효인산과 치환성 양이온 함량은 농촌진흥청 작물별 시비처방기준(RDA, 2010a)에서 추천하는 적정범위보다 높았다(Table 1). 재배품종은 감자는 대지(Dejima), 콩은 신화콩(*Glycine max* (L.) Merr., Sinhwakong), 보리는 백호보리(*Hordeum vulgare* var. *hexastichon*) 품종을 그리고 유채(*Brassica napus* L.)와 브로콜리(*Brassica oleracea* var. *italica*)는 선망과 만생종인 SK3-085 품종을 재배하였다.

Table 1. Chemical properties of the soil (0-15cm) evaluated at the first sampling

	pH (1:5)	EC (dS m <sup>-1</sup> )	OM (g kg <sup>-1</sup> )	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Ex. Cations(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		
					K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
	6.23	0.59	46.0	779	1.94	8.36	2.96
Optimum level <sup>2)</sup>	5.5-6.2	2 below	20-30	250-350	0.5-0.6	4.5-5.5	1.5-2.0

<sup>2)</sup> It is a source of RDA(2010a)

## 2. 재배방법 및 처리구

시험작물의 재배는 국내 유기농 인증기준에 따라서 화학비료와 농약 대신에 유기농자재를 이용하여 관리하였다. 작물별 유기질비료는 토양검정에 의한 시비처방 또는 표준시비량(RDA, 2010a)를 기준으로 시비하였는데, 감자의 경우 토양검정에 의한 추천시비량은 질소, 인산, 칼리성분이 각각 18.0, 0, 3.0kg 1,000m<sup>2</sup><sup>-1</sup>이었으며 농가에서 주로 사용하고 있는 유기질비료(4-1-1.5)를 질소 기준으로 환산하여 450kg 1,000m<sup>2</sup><sup>-1</sup> 시비하였다. 그밖에 재배방법은 농진청 표준재배법에 준하여 시험을 수행하였다.

처리구로는 감자를 연작한 처리(윤작 I)를 대조구로 하여 윤작으로 감자를 재배한 3개의 처리구(윤작 II, III, IV) 등 4처리를 하여 수행하였다. 윤작 I 은 봄과 가을에 감자를 연속 4회 재배하였으며, 윤작 II는 봄감자-콩-보리-가을감자 순으로 윤작 처리를 하였다. 윤작 III은 봄감자-콩-유채-가을감자 그리고 윤작 IV는 봄감자-브로콜리-봄감자-가을감자 순으로 작물을 재배하였다(Table 2).

Table 2. Cropping systems for the potato rotations over the experimental period

Year	Rotation	Cropping systems <sup>2)</sup>			
		Rotation I	Rotation II	Rotation III	Rotation IV
2010	1	Potato	Potato	Potato	Potato
	2	Potato	Soybean	Soybean	Broccoli
2011	3	Potato	Barley	Rapeseed	Potato
	4	Potato	Potato	Potato	Potato

<sup>2)</sup> Rotation I : 1, 24 Feb.-4 June ; 2, 4 Sep.-10 Dec. ; 3, 21 Feb.-2 June ; 4, 26 Oct.-13 Dec.

Rotation II : 1, 24 Feb.-4 June ; 2, 10 June-5 Nov. ; 3, 12 Nov.(<sup>10</sup>)-27 May ; 4, 26 Oct.-13 Dec.

Rotation III : 1, 24 Feb.-4 June ; 2, 10 June-5 Nov. ; 3, 12 Nov.(<sup>10</sup>)-27 May ; 4, 26 Oct.-13 Dec.

Rotation IV : 1, 24 Feb.-4 June ; 2, 4 Sep.-16 Jan.(<sup>11</sup>) ; 3, 21 Feb.-2 June ; 4, 26 Oct.-13 Dec.

## 3. 토양 및 식물체 분석

윤작이 토양 화학성 및 미생물활성 변화에 미치는 영향을 검토하기 위하여 시기별 토양 시료를 분석하였는데, 토양은 0~15cm 깊이에서 채취하였고, 채취된 토양의 화학성은 토양 화학분석법(RDA, 2010b)에 준하여 분석하였다. 토양 pH와 전기전도도(EC)는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 각각 pH와 전기전도도 meter로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법으로, 유효인산은 Lancaster법 그리고 치환성양이온은 1N ammonium acetate로 침출한 후 ICP를 이용하여 분석하였다. 그리고 토양의 미생물 삼상 및 Biomass C 분석은 시기별 채취

된 토양을 2mm 체로 친 후 멸균 샘플백에 담고 바로 4℃ 냉장 보관하면서 분석에 이용하였다. 토양미생물 삼상은 농사시험연구조사기준(RDA, 1995)에 따라서 세균, 방선균 및 사상균 밀도를 조사하였으며, 토양 미생물의 Biomass C 함량은 Vance *et al.*(1987) 등의 방법에 따라 클로로포름 혼중 추출법을 이용하여 조사하였다.

식물체의 무기성분은 토양 및 식물체 분석법(RDA, 2000)에 준하여 조사하였는데, 전질소는 황산으로 분해한 후에 켈달법으로 인, 칼륨, 등 다량원소와 아연, 구리 등 미량원소는 ICP(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer, Perkin 7300)로 분석하였다.

#### 4. 더덩이병 발병률 조사

감자의 더덩이병 발병률 및 발병도 조사방법은 각 처리구별 30g 이상의 감자 괴경을 대상으로 발병여부 및 괴경별 병반면적율을 조사하였다(Merz, 2000). 산출공식은 발병률(%)=(병반형성괴경수/조사괴경수)×100, 발병도(%)=(0n)+(1n)+(2n)+(3n)+(4n)+(5n)+(6n)/(조사괴경수×6)×100 (n, 발생괴경수; 0, 병반 없음; 1, 병반면적율 1~2%; 2, 병반면적율 2.1~5%; 3, 병반면적율 5.1~10%; 4, 병반면적율 10.1~25%; 5, 병반면적율 25.1~50%; 6, 병반면적율>50.1%)로 하였다. 그리고 상품수량은 병반면적율 5% 이하의 감자 괴경 무게를 합하여 나타내었으며, 감자 등 식물체 생육 및 수량은 농사시험연구조사기준(RDA, 1995)에 준하여 조사하였다.

#### 5. 통계처리

시험분석은 각 처리구당 3반복으로 수행하였고, 자료는 SAS 프로그램(SAS version 8/2, NC, USA, 2001)을 이용하여 분석하였으며, 평균간 유의차 검정은 Duncan's multiple range test로 95% 수준에서 분석하였다. 그리고 요인간 상관관계 분석은 SPSS 통계 프로그램(SPSS 11.0)을 이용하여 수행하였다.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 기상개황

본 시험이 수행되는 기간중 월별 평균기온은 2010년과 2011년 모두 평년과 비슷한 경향을 보였다(Fig. 1). 월별 평균강수량은 2010년의 경우 봄감자 생육기인 2월부터 5월까지 평년보다 많았고 가을감자 생육기인 9월부터 12월까지는 평년과 비슷하였다. 2011년의 경우

는 봄감자 생육기에는 평년과 비슷하였으나, 가을감자 생육기에는 평년보다 강수량이 많았다(Fig. 2).

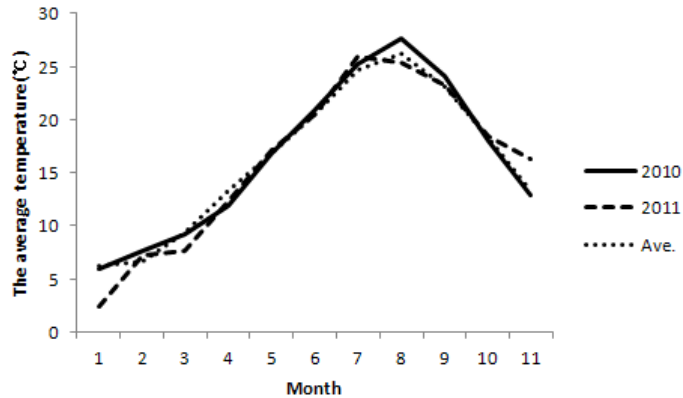


Fig. 1. The average temperature over the experimental period(Ave., from 1981 to 2010; The data was obtained from KMA).

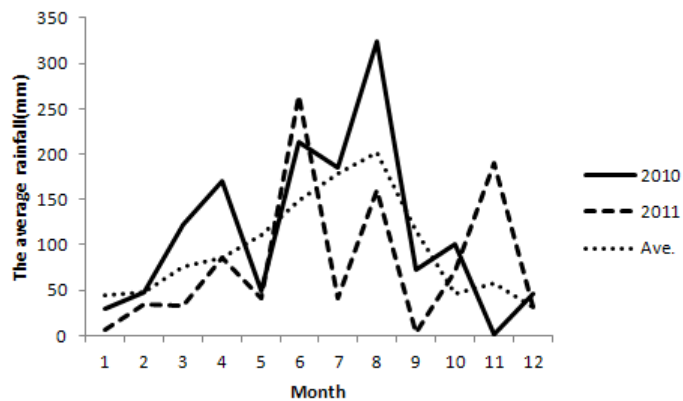


Fig. 2. The average rainfall over the experimental period(Ave., from 1981 to 2010; The data was obtained from KMA).

## 2. 윤작에 따른 감자의 수량성

본 시험에서는 2010년 봄부터 2011년 가을까지 감자를 4회 연속으로 재배한 윤작 I 처리구의 더닝이병 발병률 및 발병도를 시기별로 조사하였다(Fig. 3). 2010년 봄감자에서 더닝이병 발병률은 14.1%, 가을감자에서 58.4%, 그리고 2011년 봄감자 77.3%, 가을감자에서는 92.4%로 재배 횟수가 늘어남에 따라서 급격하게 발병률이 증가하는 것으로 나타났다. 더닝이병 발병도 또한 2010년 봄감자에서 3.6% 그리고 2011년 가을감자에서 27.3%로 점차 증

가하는 경향을 보였다. 이와 유사하게 Rowe 등(1993)도 감자 연작재배는 토양에서 유래하는 병원균의 밀도를 증가시킨다고 보고하였으며, Carter 등(2003)은 감자를 연작재배하면 급격하게 토양병원균 밀도가 증가하는데, 레드클로버와 윤작하면 병원균 발생이 감소한다고 제시하였다. 그리고 이와 관련하여 윤작은 기주에 특이적인 토양 병원균의 밀도를 증가시키며 결국 작물의 수량과 품질을 감소시킨다는 연구가 많이 보고되고 있다(Balota *et al.*, 2004; Carter and Sanderson, 2001).

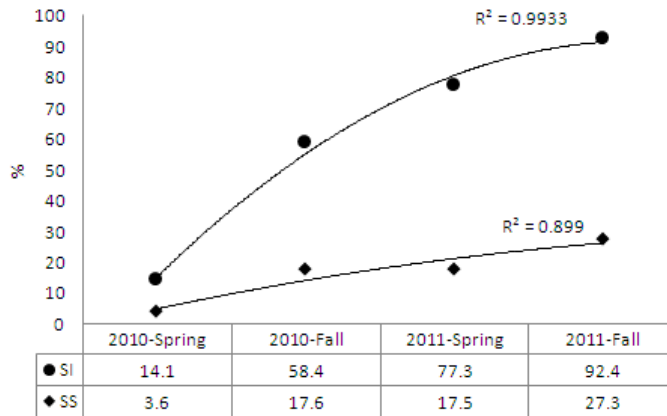


Fig. 3. Changes with time in incidence and severity of potato scab disease in continuous cropping system(● SI, scab incidence; ◆ SS, scab severity).

Table 3. Comparison of potato yield and common scab disease of tuber in four rotations

Treatment <sup>x)</sup>	Total yield (MT ha <sup>-1</sup> )		Marketable ratio <sup>y)</sup> (MT ha <sup>-1</sup> )		Common scab			
					Disease incidence		Disease severity	
	Spring	Fall	Spring	Fall	Spring	Fall	Spring	Fall
I (P/P/P/P)	26.2a <sup>z)</sup>	14.54c	88.0a	82.4ab	77.3a	92.4a	17.5a	27.3a
II (P/S/B/P)	-	19.02b	-	96.2a	-	48.1c	-	10.3b
III (P/S/R/P)	-	22.80a	-	92.1a	-	71.8b	-	16.6ab
IV (P/Br/P/P)	27.5a	20.46ab	78.1a	70.9b	79.6a	81.7ab	22.2a	28.7a

<sup>z)</sup> Data within a line accompanied by a same letter did not significantly differ according to Duncan's multiple range test at p<0.05.

<sup>y)</sup> Tubers are considered marketable when less than 5% of their surface was covered by scab lesions.

<sup>x)</sup> P, potato; S, soybean; B, barley; R, rapeseed; Br, broccoli.

윤작처리에 따른 2011년 감자의 총수량과 상품수량 그리고 더뎡이병 발병률과 발병도를 조사한 결과는 Table 3과 같다. 2010년 봄감자의 경우 총수량은  $20.6\text{MT ha}^{-1}$ 이었으며 더뎡이병 발병도가 3.6% 낮아 상품수량은 총수량과 같았다(data not shown). 윤작 I 처리구에서 2010년 가을감자의 경우 상품수량은  $23.8\text{MT ha}^{-1}$ 이었으며 총수량에 대한 상품율은 84.0%였다(data not shown). 2011년 봄감자의 총수량은 윤작 I 처리구와 전작기에 브로콜리를 재배한 후 봄감자를 재배한 윤작IV 처리구에서 각각  $26.2$  및  $27.5\text{MT ha}^{-1}$ 으로 유의성 있는 차이는 없었다. 그리고 상품수량 또한 각각  $22.9$  및  $21.6\text{MT ha}^{-1}$ 로 처리간 차이가 없었다. 더뎡이병 발병률은 윤작 I 과 윤작IV 처리구에서 각각 77.3% 및 79.6%, 그리고 발병도는 17.5% 및 22.2%로 조사되었으며 처리간 유의한 차이는 없었다. 일반적으로 농가에서는 봄감자 재배 후 겨울채소를 재배하고 나서 이듬해 봄감자 재배를 많이 하고 있는데 이런 작부체계는 윤작 효과가 미비하며 연작구와 마찬가지로 감자 병발생이 증가하여 상품수량이 감소하는 것으로 나타났다. 2011년 가을감자의 경우 총수량은 대조구인 윤작 I 에서  $14.54\text{MT ha}^{-1}$ 으로 가장 낮았고, 콩과 유채를 윤작처리한 윤작III에서  $22.80\text{MT ha}^{-1}$ 으로 가장 높았으며 연작구 보다 40.7% 증가하였다. 2011년 가을 재배된 감자에서 대조구의 상품수량(더뎡이병 발병도 5% 이하)은  $11.95\text{MT ha}^{-1}$ 로 총수량에 대한 상품율은 82.4%였고, 처리구의 상품수량은 윤작II는  $18.30\text{MT ha}^{-1}$ , 윤작III는  $20.97\text{MT ha}^{-1}$ , 윤작IV는  $14.50\text{MT ha}^{-1}$ 으로 상품율은 각각 96.2%, 92.1%, 70.9%였다. 처리구의 상품수량은 처리별 유의적인 차이를 보였으며 대조구에 비해 21~75% 정도 높게 나타났다. 반면에 더뎡이병 발병률은 대조구인 윤작 I 처리구에서 92.4%로 가장 높았고 윤작II 처리구에서 48.1%로 가장 낮았으며 처리간 유의성 있는 차이를 보였다. 더뎡이병 발병도 또한 발병률과 비슷한 경향을 보였는데, 윤작 I 과 윤작IV 처리구에서 각각 27.3, 28.7%로 높았으며, 윤작II는 10.3%로 가장 낮았다.

### 3. 감자의 무기성분 및 토양화학성

윤작처리가 감자의 무기성분 함량에 미치는 영향을 조사하기 위하여 2011년 가을감자 수확 후 괴경의 무기성분 함량을 분석하였다(Table 4). 질소 등 다량성분 함량은 칼슘을 제외하고 처리간 유의성 있는 차이를 보였는데, 대조구보다 윤작처리구에서 그 함량이 대체로 높았고 특히, 윤작III과 IV 처리구에서 유의성 있게 높았다. 그리고 감자의 붕소, 아연 등 미량성분 함량은 처리간 유의한 차이가 없었다(Table 5).

윤작처리 후 2011년 가을감자 수확기 토양의 화학성을 조사하였다(Table 6). 그 결과 토양 pH는 윤작II와 윤작III 처리구가 대조구(윤작 I) 및 윤작IV 처리구보다 높았으며 시험전보다도 다소 높았다. EC함량은 대체로 시험전보다 낮았으며 윤작IV 처리구에서 다소 높았다. 토양의 유기물 함량은 모든 처리구에서 시험전보다 증가하였으나 처리간 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 유효인산 함량은 모든 처리구에서 시험전보다 낮아졌으나 윤작구에



서가 윤작구(윤작 I)보다 대체로 높았고 유의한 차이가 있었다. 그리고 치환성 칼륨 함량은 모든 처리구에서 시험전보다 낮아졌으나 윤작 II와 III 처리구에서 다소 높았고 칼슘 및 마그네슘 함량은 윤작 II 처리구에서 가장 높았다. 결과를 종합해보면 윤작재배구인 윤작 I 처리에 비하여 윤작처리구 특히 윤작 II와 III 처리구에서 토양 pH가 높고 EC 함량은 낮으며, 유효인산 및 치환성 양이온 함량은 다소 높아졌다. 이와 같이 윤작처리 후 토양의 화학성은 처리구간 다소 차이를 보였으나 윤작처리에 따른 화학성 변화는 보다 장기적인 관점에서 연구가 더 수행되어야 할 것으로 판단된다.

Table 4. Effect of crop rotations on the macroelements concentration of potato tuber

Treatment <sup>3)</sup>	Concentration of macroelements					
	N	P	K	Ca	Mg	Total
	-----%-----					
I (P/P/P/P)	1.18c <sup>2)</sup>	0.26c	1.35c	0.040a	0.091c	2.93c
II (P/S/B/P)	1.25bc	0.28bc	1.26c	0.042a	0.092c	2.93c
III (P/S/R/P)	1.55a	0.30b	1.67b	0.035a	0.106b	3.66b
IV (P/Br/P/P)	1.30b	0.35a	2.37a	0.032a	0.135a	4.19a

<sup>2)</sup> Data within a line accompanied by a same letter did not significantly differ according to Duncan's multiple range test at p<0.05.

<sup>3)</sup> P, potato; S, soybean; B, barley; R, rapeseed; Br, broccoli.

Table 5. Effect of crop rotations on the microelements concentration of potato tuber

Treatment <sup>3)</sup>	Concentration of microelements					
	B	Zn	Mn	Fe	Cu	Total
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----					
I (P/P/P/P)	8.86	13.80	8.87	65.41	8.70	105.63a <sup>2)</sup>
II (P/S/B/P)	8.89	18.43	11.73	77.41	9.09	125.56a
III (P/S/R/P)	10.69	14.88	8.63	67.79	8.21	110.19a
IV (P/Br/P/P)	12.13	9.91	8.23	73.05	7.47	110.79a

<sup>2)</sup> Data within a line accompanied by a same letter did not significantly differ according to Duncan's multiple range test at p<0.05.

<sup>3)</sup> P, potato; S, soybean; B, barley; R, rapeseed; Br, broccoli.

Table 6. Some chemical properties of the control soil and soils with rotation treatments

Treatment <sup>y)</sup>	pH (1:5)	EC (dS m <sup>-1</sup> )	OM (g kg <sup>-1</sup> )	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Ex. Cations (cmolc kg <sup>-1</sup> )		
					K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
<i>at the first sampling in 2010</i>							
	6.23	0.59	46.0	779	1.94	8.36	2.96
<i>at the harvest season of fall potato in 2011</i>							
I (P/P/P/P)	6.29b <sup>2)</sup>	0.30b	60.9a	571c	1.21b	8.27c	3.59a
II (P/S/B/P)	6.47a	0.28b	55.3a	685a	1.25a	8.85a	3.62a
III (P/S/R/P)	6.44a	0.30b	58.3a	632b	1.26a	8.65b	3.28b
IV (P/Br/P/P)	6.21c	0.34a	60.5a	625b	1.10c	7.96d	3.16c

<sup>2)</sup> Data within a line accompanied by a same letter did not significantly differ according to Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .

<sup>y)</sup> P, potato; S, soybean; B, barley; R, rapeseed; Br, broccoli.

#### 4. 윤작에 따른 토양 미생물체량

토양 미생물 활성은 계절적인 기온, 작물의 생육단계, 토양 피복 및 경운 등에 따라 변화가 될 수 있다(Balota *et al.*, 2004; Wardle *et al.*, 1999; Hungria & Vargas, 2000; Franchini *et al.*, 2007). 따라서 본시험에서도 2010년 봄감자 수확 후 콩 파종전부터 2011년 가을감자 수확기 까지 작물 생육단계별로 토양 미생물 Biomass C 함량 변화를 조사하였다(Fig. 4). 대조구인 윤작 I 처리구의 경우 2010년 봄감자 수확기부터 가을감자 수확기 까지 점차 감소하는 경향이었으며 2011년 봄감자 파종기 이후 점차 증가하다가 봄감자 수확 후 다시 감소하는 경향을 보였다. 윤작 II~IV 처리구도 대조구와 비슷한 변화를 보였으나 연작구보다 토양 미생물 Biomass C 함량이 높은 경향이었으며, 특히 윤작 I 과 윤작 IV 처리구는 2010년 가을감자 파종기 및 브로콜리 정식기와 수확기까지 토양 미생물 Biomass C가 감소하는 경향을 보이는 반면에 윤작 II, 윤작 III 처리구는 콩 파종기 이후 같은 시기에도 미생물 Biomass C 함량이 계속해서 증가하는 경향을 보였다. 윤작 I 과 IV 처리구에서 작물 파종 및 정식 준비를 위한 비료 시비와 경운 등의 영향으로 토양 미생물 Biomass 함량이 감소한 것으로 생각된다. Mariangela 등(2009)은 토양의 경운을 줄이면 토양의 미생물 Biomass 함량과 대사 효율이 증가하고 따라서 토양의 질이 좋아지며 작물의 생산성도 증가시킬 수 있다고 하였으며, 콩을 윤작하면 토양의 미생물 Biomass C 함량과 미생물 대사 활성이 증가한다고 보고하였다. Carter 등(2009)도 감자 재배지에서 보존형 경운(conservation tillage)은 토양의 물리적 및 생물학적 특성을 이롭게 하며 보존형 경운과 윤작을 적절하게 조합하면 집약적인

감자 재배토양의 지력을 회복시킬 수 있다고 제시하였다. 그리고 윤작(감자-보리-레드클로버)은 토양 미생물 Biomass C와 미생물 활성 지표를 증가시킨다고 보고하였다.

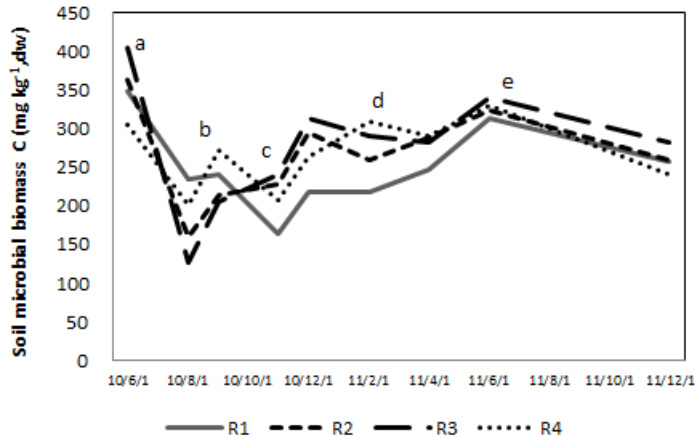


Fig. 4. Changes with time of soil microbial biomass C during rotation period(a; 2010/6/10, b; 2010/9/16, c; 2010/11/2, d; 2011/2/21, e; 2011/6/24 : R1, Rotation I ; R2, Rotation II ; R3, Rotation III ; R4, Rotation IV).

Table 7. Microbial biomass C contents(MBC) and populations of the control soil(R1) and soils with rotation treatments after harvesting Fall-Potato in 2011

Treatment <sup>y)</sup>	MBC (mg kg <sup>-1</sup> )	Microbial populations		
		Bacteria (×10 <sup>5</sup> )	Actinomycetes (×10 <sup>5</sup> )	Fungi (×10 <sup>3</sup> )
I (P/P/P/P)	256bc <sup>2)</sup>	550a	70a	93a
II (P/S/B/P)	259b	750a	80a	86a
III (P/S/R/P)	282a	663a	61a	78a
IV (P/Br/P/P)	241c	545a	57a	90a

<sup>2)</sup> Data within a line accompanied by a same letter did not significantly differ according to Duncan's multiple range test at p<0.05.

<sup>y)</sup> P, potato; S, soybean; B, barley; R, rapeseed; Br, broccoli.

2011년 가을감자 수확 후 토양 미생물 Biomass C와 미생물삼상 밀도를 조사한 결과는 Table 7과 같다. 윤작처리 후 토양 미생물 Biomass C 함량은 콩과 유채를 윤작 처리한 윤작 III에서 가장 높았고 유의한 차이를 보였으며 대조구인 윤작 I 과 IV 처리구에서는 낮았다. 윤작처리 후 토양의 세균 밀도는 대조구인 윤작 I 처리구 보다 윤작 II와 III 처리구에서 높

은 경향이나 유의성 있는 차이를 보이지 않았으며, 방선균과 사상균 밀도는 처리간 차이가 크지 않았다.

감자재배지 윤작처리가 상품수량, 토양 미생물 활성 및 토양 화학성에 미치는 영향을 종합적으로 평가하기 위하여 요인간 상관관계를 분석하였다(Table 8). 감자의 상품수량은 토양의 Biomass C, 세균 밀도, pH, 유효인산 그리고 치환성칼슘 함량과는 양의 상관관계를, 더뎡이병 발병률 및 발병도, 사상균 밀도와는 음의 상관관계를 보였다. 특히 더뎡이병 발병률은 더뎡이병 발병도와 아주 강한 양의 상관관계 그리고 세균밀도와는 아주 강한 음의 상관관계를 보였으며 통계적으로도 유의하였다. 그리고 토양의 미생물 Biomass C는 토양의 pH, 치환성 칼륨, 칼슘함량 그리고 유기물함량과 강한 양의 상관관계를 보였으며, 또한 토양의 세균 밀도는 토양의 pH 및 치환성 칼슘 함량과 유의성 있는 양의 상관관계를 보였다. 이와 관련하여 Garbeva 등(2004)도 토양의 미생물 Biomass C는 토양의 pH 및 세균밀도와 강한 양의 상관관계가 있다고 보고하였다. 그러나 일반적으로 토양 pH가 낮을수록 더뎡이병 발생이 적고 수량에 영향을 받지 않은 범위에서 토양 pH를 낮게 조절하는 것이 감자재배에 유리하다고 알려져 있다(Lacey and Wilson, 2001). 따라서 지금까지는 관행적으로 더뎡이병

Table 8. Correlation matrix obtained by regression analysis of all the data for four rotations

	MY	SI	SS	MBC	B	A	F	pH	EC	AP	E-K	E-Ca	E-Mg	OM
MY	1.000													
SI	-0.687	1.000												
SS	-0.787	0.924*	1.000											
MBC	0.751	-0.253	-0.577	1.000										
B	0.760	-0.951*	-0.996**	0.507	1.000									
A	0.024	-0.595	-0.632	0.063	0.653	1.0000								
F	-0.968*	0.485	0.646	-0.843	-0.602	0.145	1.000							
pH	0.792	-0.783	-0.961*	0.760	0.936*	0.591	-0.710	1.000						
EC	-0.380	0.586	0.794	-0.571	-0.772	-0.854	0.295	-0.864	1.000					
AP	0.695	-0.968*	-0.824	0.141	0.860	0.404	-0.493	0.645	-0.365	1.000				
E-K	0.585	-0.482	-0.776	0.843	0.727	0.587	-0.578	0.913*	-0.922*	0.282	1.000			
E-Ca	0.717	-0.797	-0.964*	0.695	0.943*	0.687	-0.617	0.992**	-0.911	0.643	0.913*	1.000		
E-Mg	-0.191	-0.291	-0.409	0.083	0.413	0.936*	0.291	0.447	-0.828	0.063	0.588	0.547	1.000	
OM	0.134	0.143	-0.234	0.735	0.165	0.312	-0.255	0.481	-0.665	-0.357	0.795	0.482	0.528	1.000

MY, marketable yield of potato; SI, scab incidence; SS, scab severity; MBC, microbial biomass C; B, bacteria; A, actinomyces; F, fungi; pH, potential of hydrogen ion; EC, electrical conductivity; AP, available phosphate; E-K, exchangeable kalium; E-Ca, exchangeable calcium; E-Mg, exchangeable magnesium; OM, organic matter; \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ .

방제를 위하여 토양 pH를 낮추는 연구들이 수행되어왔다. 그러나 앞으로 감자 재배지 토양의 지력을 효율적으로 관리하고 보존하기 위해서는 윤작과 관련된 연구가 장기적으로 수행되고 좀 더 면밀히 검토되어야 할 것으로 생각된다.

#### IV. 적 요

본 시험은 윤작처리가 감자의 상품수량과 토양 화학성 및 미생물 활성에 미치는 영향을 평가하고 알맞은 작부체계를 확립하기 위하여 시험을 수행하였다.

작부체계내 콩과 보리를 도입하여 2년 2기작으로 감자를 윤작하였을 경우 총수량과 상품수량은 대조구인 연작구 대비 각각 31% 및 53% 정도 증가하였으며, 콩과 유채를 도입하여 2년 2기작으로 감자를 윤작하였을 경우 총수량과 상품수량은 각각 57% 및 75% 정도 증가하였다. 그리고 감자의 상품수량에 미치는 요인간 상관관계를 분석한 결과 상품수량은 토양미생물 활성, 특히 Biomass C 및 세균 밀도가 높을수록 증가하였고, 토양 pH, 유효인산, 치환성 칼슘함량이 높을수록 세균 밀도가 증가하였다.

따라서 윤작을 통해서 토양 화학성을 개량하고 미생물 밀도 및 활성을 증가시키면, 토양 병 발생을 억제하고 감자의 생산성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

[논문접수일 : 2012. 10. 10. 논문수정일 : 2012. 12. 14. 최종논문접수일 : 2012. 12. 24.]

#### 참 고 문 헌

1. Balota, E. L., A. Colozzi-Filho, D. S. Andrade, and R. P. Dick. 2004. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass C and N mineralization in a Brazilian oxisol. *Soil Till. Res.* 77: 137-145.
2. Carter, M. R. and J. B. Sanderson. 2001. Influence of conservation tillage and rotation length on potato productivity, tuber disease, and soil quality parameters on a fine sandy loam in eastern Canada. *Soil Till. Res.* 63: 1-13.
3. Carter, M. R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interaction that maintain soil functions. *Agron. J.* 94: 38-47.
4. Carter, M. R., H. T. Kunelius, J. B. Sanderson, J. Kimpinski, H. W. Platt, and M. A.

- Bolinder. 2003. Productivity parameters and soil health dynamics under long-term 2-year potato rotations in Atlantic Canada. *Soil & Tillage Research* 72: 153-158.
5. Carter, M. R., C. Noronha, R. D. Peters, and J. Kimpinski. 2009. Influence of conservation tillage and crop rotation on the resilience of an intensive long-term potato cropping system: Restoration of soil biological properties after the potato phase. *Agri. Ecosystems and Environment*. 133: 32-39.
  6. Celetti, M. J., H. W. Johnston, and H. W. Platt. 1990. A note on the incidence of soilborne fungi in six crops used in rotation with potatoes. *Phytoprotection*. 71: 97-100.
  7. Chen, W., H. A. J. Hoitink, and L. V. Madden. 1988. Microbial activity and biomass in container media for predicting suppressiveness to damping-off caused by *Phythium ultimum*. *Phytopathology*. 78: 1447-1450.
  8. Dalal, R. C. 1998. Soil microbial biomass- What do the numbers really mean?. *Aust. J. Exp. Agric.* 38: 649-665.
  9. Franchini, J. C., C. C. Crispino, R. A. Souza, E. Torres, and M. Hungria. 2007. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various tillage and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil Till. Res.* 92: 18-29.
  10. Friedel, J. K., D. Gabel, and K. Stahr. 2001. Nitrogen pools and turnover in arable soils under different durations of organic farming. II. Source-and-sink-function of the soil microbial biomass or competition with growing plants?. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 164: 421-429.
  11. Garbeva, P., J. A. van Veen, and J. D. van Elsas. 2004. Microbial diversity in soil: selection of microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness. *Annu. Rev. Phytopathol.* 42: 243-270.
  12. Hungria, M. and M. A. T. Vargas. 2000. Environmental factors impacting N<sub>2</sub> fixation in legumes grown in the tropics, with an emphasis on Brazil. *Field Crop Res.* 65: 151-164.
  13. Karlen, D. L. and C. A. Cambardella. 1996. Conservation strategies for improving soil quality and organic matter storage. In: Carter, M.R., Stewart, B.A.(Eds), *Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils*. Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton, FL.: 395-420.
  14. Keller, E. R. 1989. Crop rotation-an important aspect in integrated potato production. In; Vos, J., Van Loon C. D., Bollen G. J.(Eds.), *Effects of crop rotation on potato production in the Temperate Zones*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands: 291-301.
  15. Kim, C. J., H. B. Lee, J. W. Cho, and C. H. Lim. 2004. Screening of Antagonistic Actinomycetes for Potato Scab Control and Isolation of Antibiotic Compound. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 47(2): 164-169.

16. Kim, T. G. 2011. Agricultural experiment and research report of Jeju special self-governing province agricultural research and extension services: 175-184.
17. Lacey, M. J. and C. R. Wilson. 2001. Relationship of common scab incidence of potatoes grown in Tasmanian Ferrosol soils with pH, exchangeable cation and other chemical properties of those soils. *J. Phytopathology*. 149: 679-683.
18. Larkin R. P. and T. S. Griffin. 2007. Control of soilborne potato disease using *Brassica* green manures. *Crop protection*. 26: 1067-1077.
19. Mariangela, H., C. F. Julio, B. J. Osvaldino, K. Glaciela, and A. S. Rosinei. 2009. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop rotation systems. *Applied Soil Ecology*. 42: 288-296.
20. Merz U. 2000. Powdery scab. Research in Swizerland. In: Merz U, Lees AK(eds) Proceedings of the First European Powdery Scab Workshop: 67-71.
21. Pedersen, E. A. and G. R. Hughes. 1992. The effect of crop rotation on development of the septoria disease complex on spring wheat in SasKatchewan. *Can.J. Plant Pathol*. 14: 152-158.
22. Peters, R. D., A. V. Sturz, M. R. Carte, and J. B. Sanderson. 2003. Developing disease-suppressive soils through crop rotation and tillage management practices. *Soil & Tillage Research* 72: 181-192.
23. RDA. 1995. Investigation standard of agricultural experiment and research.
24. RDA. 2000. Analysis of plant and soil chemical properties.
25. RDA. 2010a. Fertilizer recommendation.
26. RDA. 2010b. Analysis of soil chemical properties.
27. Rowe, R. 1993. Potato health management: a holistic approach, pp. 3-10. In: Rowe R.(Ed.), *Potato Health Management*. APS Press. Minnesota, USA, 178.
28. Scholte, K. 1987. The effect of crop rotation and granular nematicides on the incidence of *Rhizoctonia solani* in Potato. *Potato Res*. 30: 187-199.
29. Shuijin, H., T. Cong, F. J. Louws, N. G. Creamer, J. P. Muller, C. Brownie, K. Fager, and M. Bell. 2006. Responses of soil microbial biomass and N availability to transition strategies from conventional to organic farming systems. *Agri. Eco. and Environment*. 113: 206-215.
30. Smith, J. L. and E. A. Paul. 1990. The significance of soil microbial biomass estimations. In: Bollag, J. M., Stotzky, G.(Eds.). *Soil Biochemistry*. 6: 357-396.
31. Vance, E. D., P. C. Brookes, and D. S. Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem*. 19: 703-707.
32. Wardle, D. A., G. W. Yeates, K. S. Nicholson, K. I. Bonner, and R. N. Watson. 1999.

- Response of soil microbial biomass dynamics, activity and plant litter decomposition to agricultural intensification over a seven-year period. *Soil Biol. Biochem.* 31: 1707-1720.
33. Workneh, F. and A. H. C. van Bruggen. 1994. Suppression of corky root of tomatoes in soils from organic farms associated with soil microbial activity and nitrogen status of soil and tomato tissue. *Phytopathology.* 84: 688-694.