

## Effect of Biodegradable Mulch Film on Soil Microbial Community

Jin-Young Moon, Jae-Ki Song, Jung-Ho Shin, Yong-Cho Cho, Jin-Woo Bae<sup>1</sup>, Jae-Young Heo, Hang-Won Kang<sup>1\*\*</sup>, and Young-Han Lee\*

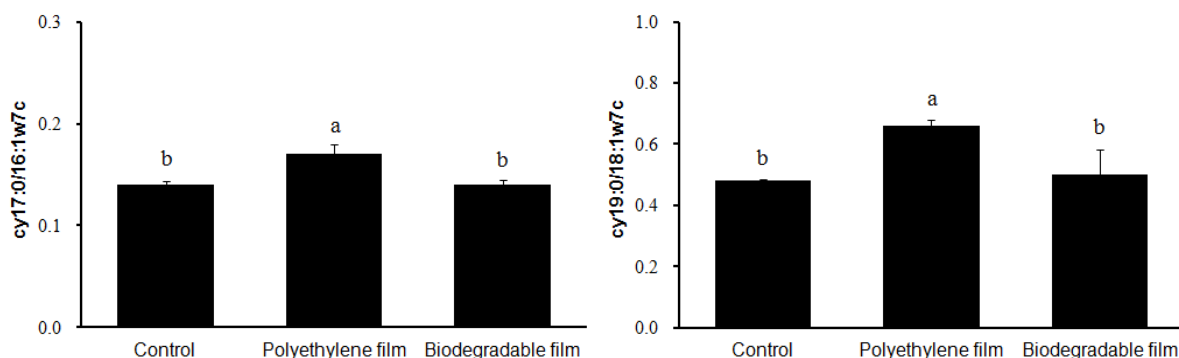
Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 52733, Republic of Korea

<sup>1</sup>Crop Production Technology Research Division, NICS, RDA, Milyang 50404, Republic of Korea

(Received: March 17 2016, Revised: April 22 2016, Accepted: April 25 2016)

The biodegradable film application can escape from plastic environmental pollution. This experiments studied the effect of biodegradable mulch film on the soil microbial community using fatty acid methyl ester method in soybean production field. The soil NO<sub>3</sub>-N content in polyethylene mulch film (PE) soil was significantly higher than biodegradable mulch film soil ( $p < 0.05$ ). The soil microbial community of Gram negative bacteria showed significantly higher in biodegradable mulch film soil than PE mulch film soil ( $p < 0.05$ ). In addition, biodegradable mulch film soil had significantly low ratio of cy17:0 to 16:1 $\omega$ 7c and cy19:0 to 18:1 $\omega$ 7c compared with those of PE mulch film soil ( $p < 0.05$ ), indicating that microbial stress decreased. The ratio of cy17:0 to 16:1 $\omega$ 7c and cy19:0 to 18:1 $\omega$ 7c should be considered as a potential responsible factor for the obvious differentiation that was observed between the biodegradable mulch film soil and PE mulch film soil in a upland field. The results of this experimentation show the potential of using biodegradable mulch film in place of PE.

**Key words:** Microbial community, Biodegradable film, Polyethylene film, Fatty acid methyl ester (FAME)



Ratio of cy17:0 to 16:1 $\omega$ 7c and cy19:0 to 18:1 $\omega$ 7c of different mulch film soils for soybean cultivation. Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Tukey's studentized range test. Bars represent one standard deviation of the mean.

\*Corresponding author: Phone: +82552541313, Fax: +82552541319, E-mail: lyh2011@korea.kr

\*\*Co-corresponding author: Phone: +82553501250, Fax: +82553523059, E-mail: kanghw@korea.kr

<sup>§</sup>Acknowledgement: This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ011197022016)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

## Introduction

콩은 우리나라에서 수천 년 동안 재배되어오면서 간장, 된장, 두부, 콩나물, 밥밀콩 등 우리 국민의 전통식품으로 이용되어온 중요한 작물이다. 국내 콩 재배면적은 80년대 초까지 20만 ha 정도 재배되었지만 그 이후 점차 감소하여 2015년에 57천 ha 정도 재배되고 있다. 재배면적 감소에는 여러 요인이 있으나 노력비 과다에 따른 생산비의 지속적인 증가를 주요 요인으로 볼 수 있다. 콩 생산비를 분석하면 노력비 50.5%, 종묘비 5.0%, 농자재비 11.1% 등으로 노력비가 차지하는 비중이 매우 높다. 최근에는 노력비 중에 잡초방제 노력을 줄이기 위해 비닐피복 재배가 많이 이루어지고 있다. 농가에서 많이 사용하고 있는 PE 필름은 잡초방제, 토양 수분보전, 토양 온도상승, 작물 생산성과 품질을 증대시키는 효과가 있으며 상대적으로 가격이 저렴하고 이용하기 쉬워 세계적으로 널리 사용되고 있다 (Miles et al., 2012). 또한, PE 필름은 토양의 공극을 증대시켜 작물 생육을 촉진하기도 한다 (Kim and Hong, 1986). 그러나 PE 필름은 재생이 불가능하고 토양에서 분해가 되지 않아 환경을 오염시키고 있다. 통계청에 따르면 우리나라는 2014년 농촌 폐비닐 발생량은 329천톤이지만 수거비율은 57% 정도가 수거되고 나머지는 농경지와 주변에 방치되고 있다. 이러한 관점에서 PE 필름과 동일한 효과를 가지면서 사용후에는 토양 미생물, 태양광, 지열 등에 의해 쉽게 분해되고 환경친화적인 생분해성 필름에 대한 연구가 많이 진행되고 있다 (Costa et al., 2014; Cowan et al., 2013; Kasirajan and Ngouajio, 2012; Yang and Wu, 1999). 토양에서 미생물 군집을 분석하는 방법은 미생물의 유전체 분석을 통한 파이로시퀀싱 기술 (Davinic et al., 2012; Jones et al., 2009)과 미생물의 세포벽 지방산 조성을 분석하는 지방산 메틸에스테르 (fatty acid methyl ester, FAME) 방법을 많이 사용하고 있다 (Kim and Lee, 2011; Kim et al., 2015; Lee and Kim, 2011; Lee and Yun, 2011; Macalady et al., 1998). 경남지역 밭토양은 감자 재배지의 경우 지방산 cy17:0과 16:1 $\omega$ 7c 비율이 0.45로서 마늘 재배지 0.28, 고추 및 콩 재배지 0.26 보다 유의적으로 높아 미생물이 받는 스트레스는 큰 것으로 나타났으며, 그람음성 세균의 군집도 10.9%로 마늘 재배지 13.7%와 콩 재배지 13.4%에 비해 낮았다 (Kim et al., 2014). 그리고 방선균 군집은 콩에서 2.2%로 감자 1.6%에 비해 유의적으로 높은 경향이었으며 (Lee and Ha, 2011b) 토양 바실러스균과 곰팡이균은 토양의 유기물 함량과 정의 상관관계를 보였으며 토양 pH는 형광성 슈도모나스균과 정의 상관관계를 나타냈다 (Lee and Ha, 2011a). 그러나 밭토양에서 생분해 필름을 사용하였을 때 미생물의 군집에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 콩 멀칭재배에서 노동력 절감과 농촌

환경 오염의 원인이 되고 있는 폐비닐의 문제를 해결하기 위해 생분해 필름을 이용하였을 때 토양의 미생물 군집의 변화에 미치는 영향을 검토코자 수행하였다.

## Materials and Methods

**재배 및 토양 조건** 본 시험에 사용한 콩 품종은 우람콩이며 이현미사질양토 (Ihyeon series, Coarse silty, mixed, mesic family of Dystric Fluventic Eutrochrepts)에서 멀칭 효과를 검토하였다. 처리내용은 무처리, PE 필름과 생분해 필름 등 3수준으로 처리하여 난괴법 3반복으로 수행하였다. 파종은 6월 25일에 실시하여 종실의 수분이 14%이하로 성숙한 10월 25일에 수확하였다. 재배방식은 피복재배는 PE 필름과 생분해 필름으로 피복하여 재식거리를 70×15 cm로 하여, 1주 2본 재배를 하였고, 대조구는 무피복 재배로 재식거리와 재식본수를 피복재배와 같이 하였다. 시비량은 10a당 성분량으로 질소 3 kg, 인산 3 kg 및 칼리 3.4 kg을 전량 기비로 질소는 요소, 인산은 용성인비, 그리고 칼리는 황산칼리로 시비하였다.

시험전 토양 화학성은 pH 6.7, EC 0.20 dS m<sup>-1</sup>, 유기물 19 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 469 mg kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼륨 0.46 cmolc kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼슘 8.9 cmolc kg<sup>-1</sup>, 치환성 마그네슘 2.6 cmolc kg<sup>-1</sup>, 질산태 질소 4 mg kg<sup>-1</sup>의 전형적인 밭토양의 특징을 나타냈다.

**토양 화학성분 분석방법** 토양은 수확기에 표토를 1 cm정도 걷어내고 0-15 cm 깊이에서 500 g 정도를 3번 반복으로 채취하였다. 채취한 토양시료는 음지에서 깨끗한 플라스틱 평판위에 얇게 펴서 7일간 건조하여 고무망치로 입자를 분쇄한 후 2 mm 체를 통과된 것을 화학성분 분석에 사용하였다. 토양의 화학성분은 토양화학분석법 (NIAST, 2010)을 적용하여 분석하였다. 토양의 pH와 EC는 토양 10 g에 50 mL 증류수를 가하여 1:5 비율로 희석하고 비이커를 가끔씩 저어주면서 1시간 정지한 후 pH meter (Orion 520A pH meter, Orion Research Inc., Boston, USA)와, EC meter (Orion 3STAR EC meter, Orion Research Inc., Boston, USA)로 분석하였다. 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로 비색계 (UV-1650PC, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 사용하여 분석하였다. 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 나트륨 등의 양이온은 1M NH<sub>4</sub>OAc로 추출하여 ICP (Analyst 300, Perkin-Elmer, Norwalk, USA)로 분석하였고 질산태 질소는 킬달법으로 정량하였다.

**토양 미생물 군집 분석** 밭토양 미생물 군집은 습토를 사용하여 Schutter and Dick (2000)의 방법에 준하여 fatty acid methyl ester (FAME) 방법을 이용하였다 (Kim et al.,

2014; Park et al., 2014). 미생물의 함량과 군집 분석은 GC Agilent 6890N (Agilent Technologies, USA)과 HP-ULTRA 2 capillary column (25 m×0.2 mm×0.33 μm film thickness, Agilent Technologies, USA)을 사용하고 Internal standard 19:0을 이용하여 상대적인 함량과 비율을 계산하였다 (Hamel et al., 2006; Kim et al., 2014). 총 세균은 지방산 조성 i15:0, a15:0, 15:0, i16:0, 16:1ω9, 16:1ω7, i17:0, a17:0, 17:0, cy17:0, 18:1ω7c와 cy19:0 (i, iso-branched FAMES; a, anteiso-branched FAMES; cy, cyclopropane groups; ω, aliphatic; c, cis-conformation)을 합산하여 분석하였다 (Macalady et al., 1998; Schutter and Dick, 2000). 그람 음성 세균은 지방산 16:1ω7c, 18:1ω7c, cy17:0 및 cy19:0을 합산하였고, 그람 양성 세균은 지방산 i15:0, a15:0, i16:0, i17:0 및 a17:0을 합산하여 구하였다 (Zelles, 1997). 방선균은 지방산 10Me18:0 (Me, methyl group)을 사용하였고 (Schutter and Dick, 2000) 곰팡이는 지방산 18:1ω9c와 18:2ω6c를 사용하였다 (Bradley et al., 2006). 지방산 16:1ω5c는 내생균 균의 biomarker로 이용하였다 (Frostegård et al., 1993; Olsson et al., 1998). 그리고 cy17:0과 16:1ω7c와 cy19:0과 18:1ω7c의 비율은 토양환경에 대한 활성 지표로 사용하였다 (Guckert et al., 1986; Grogan and Cronan, 1997).

**통계분석** 분석된 토양 화학성과 미생물 군집은 SAS 프로그램 9.1.3 버전 (2006)을 사용하여 통계분석 하였다. 토양 화학성과 미생물 특성은 5% 수준에서 Duncan's multiple range test를 수행하였다. 그리고 토양 질산태 질소 함량과 미생물 군집은 주성분 분석을 통하여 멀칭 처리별 차이를 검토하였다.

## Results and Discussion

**토양 화학성 변화** 생분해 멀칭을 처리한 후 콩 수확기 토양 화학성분을 분석한 결과는 Table 1과 같다. 토양의 EC 값은 PE 필름 처리구가 0.42 dS m<sup>-1</sup>로 생분해 필름 0.26 dS m<sup>-1</sup>, 무처리 0.22 dS m<sup>-1</sup>보다 유의적으로 높았다 ( $p < 0.05$ ). 이러한 경향은 PE 필름 처리구가 수확기에 질산태

질소 함량이 29.9 mg kg<sup>-1</sup>으로 생분해 필름 8.8 mg kg<sup>-1</sup>, 무처리 7.5 mg kg<sup>-1</sup>에 비해 유의적으로 높아 ( $p < 0.05$ ) EC에 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한, PE 필름을 멀칭할 경우 토양 깊이 30 cm까지 질산태 질소 함량은 휴경지나 수단그라스를 피복한 처리구에 비해 약 4배 정도 높다고 보고한 Rhoads et al. (1999)의 결과와 일치하였다. 그리고 PE 필름 멀칭을 한 경우 강우를 차단하는 효과로 무처리나 분해가 용이한 생분해 필름 멀칭에 비해 질산태 질소의 용탈이 경감된다 (Romic et al., 2003). 모든 처리구에서 시험후 토양 화학성은 Kim et al. (2014)이 보고한 경남지역 콩재배지의 토양 유기물 함량 31 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 766 mg kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼륨 0.90 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> 보다 낮은 함량을 나타냈다. 토양 pH는 시험전 6.7에 비해 PE 필름 6.4, 무처리 및 생분해 필름 6.5로 낮아졌으나 처리간 유의적인 차이가 없었다. 그리고 생분해 필름 처리구는 토양 유기물 19 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 455 mg kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼륨 0.50 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼슘 8.8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> 및 치환성 마그네슘 2.7 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>이었으나 무처리와 PE 필름 멀칭구와 유의적인 차이가 없었다.

**토양 미생물 함량** 수확기 토양의 미생물 함량을 분석한 결과는 Table 2와 같다. 토양의 미생물체량을 나타내는 총 FAME 함량은 생분해 필름 처리구가 177.5 nmol g<sup>-1</sup>이었으며 PE 필름 처리구는 175.1 nmol g<sup>-1</sup>, 무처리구는 173.1 nmol g<sup>-1</sup>을 나타냈으나 유의적인 차이는 없었다. 생분해 필름 처리구와 PE 필름 처리구의 그람 양성 세균 함량은 23.2 nmol g<sup>-1</sup> 및 22.1 nmol g<sup>-1</sup>으로서 무처리 20.0 nmol g<sup>-1</sup> 보다 유의적으로 많았다 ( $p < 0.05$ ). 반면에 곰팡이 함량은 무처리가 31.2 nmol g<sup>-1</sup>으로서 PE 필름 처리구 29.2 nmol g<sup>-1</sup> 및 생분해 처리구 28.5 nmol g<sup>-1</sup> 보다 유의적으로 많았다 ( $p < 0.05$ ). 이러한 결과는 Jung et al. (1985)이 보고한 바와 같이 토양 표면에 멀칭이나 피복을 할 경우 토양의 공극이 증대됨으로 호기성 세균들의 활성이 증대된 것으로 판단되었다. 총 세균 함량과 그람 음성 세균 함량은 생분해 필름 처리구가 53.9 nmol g<sup>-1</sup> 및 28.0 nmol g<sup>-1</sup>의 값으로 PE 필름 처리구 51.3 nmol g<sup>-1</sup> 및 26.5 nmol g<sup>-1</sup> 그리고 무처리 50.5 nmol g<sup>-1</sup> 및 27.9 nmol g<sup>-1</sup> 보다 많았으나 유의적인 차이는

**Table 1. Chemical properties of different mulch film soils for soybean cultivation.**

Mulch film	pH	EC	OM	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. cation			NO <sub>3</sub> -N
					K	Ca	Mg	
	(1:5)	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	-----	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	-----	mg kg <sup>-1</sup>
Control	6.5a <sup>†</sup>	0.22c	21a	457a	0.43a	8.8a	2.7a	7.5b
Polyethylene film	6.4a	0.42a	19a	408a	0.49a	9.5a	2.8a	29.9a
Biodegradable film	6.5a	0.26b	19a	455a	0.50a	8.8a	2.7a	8.8b

<sup>†</sup>Means followed by different letters within the same row are significantly different at a 0.05 significance level, according to Duncan's multiple range test.

**Table 2. Microbial biomass of different mulch film soils for soybean cultivation.**

Mulch film	TF <sup>†</sup>	B	G (-)	G (+)	A	F	AMF
	nmol g <sup>-1</sup>						
Control	173.1a <sup>‡</sup>	50.5a	27.9a	20.0b	2.6a	31.2a	4.4a
Polyethylene film	175.1a	51.3a	26.5a	22.1a	3.3a	29.2b	4.6a
Biodegradable film	177.5a	53.9a	28.0a	23.2a	3.2a	28.5b	4.1a

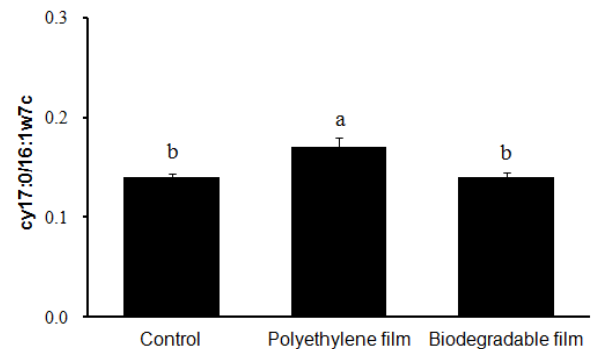
<sup>†</sup>TF, total FAMES; B, total bacteria; G (-), gram-negative bacteria; G (+), gram-positive bacteria; A, actinomycetes; F, fungi; AMF, arbuscular mycorrhizal fungi.

<sup>‡</sup>Means followed by different letters within the same row are significantly different at a 0.05 significance level, according to Duncan's multiple range test.

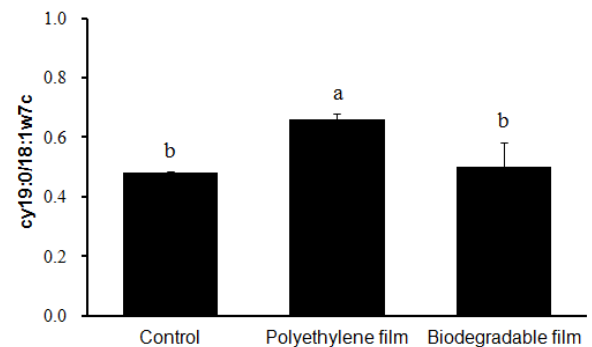
없었다. 이러한 결과는 Lee and Ha (2011b)가 보고한 경남 지역 밭 토양 25개소 토양 미생물의 총 FAME 함량 238 nmol g<sup>-1</sup>, 총 세균 함량은 73 nmol g<sup>-1</sup>, 그람음성 세균과 그람음성 세균은 33 nmol g<sup>-1</sup>, 방선균 함량은 4.5 nmol g<sup>-1</sup>, 곰팡이 함량은 40 nmol g<sup>-1</sup>, 내생균균 함량은 6.8 nmol g<sup>-1</sup> 보다 낮았다. 그리고 Kim et al. (2014)이 보고한 경남 지역 콩재배지의 총 FAME 함량 302 nmol g<sup>-1</sup>, 총 세균 함량 85.9 nmol g<sup>-1</sup>, 그람음성 세균 함량 41.4 nmol g<sup>-1</sup>, 그람음성 세균 함량 39.1 nmol g<sup>-1</sup>, 방선균 함량 5.2 nmol g<sup>-1</sup>, 곰팡이 함량 47.9 nmol g<sup>-1</sup>, 내생균균 함량 6.9 nmol g<sup>-1</sup> 보다 낮았다. 이러한 경향은 Lee and Ha (2011a)의 보고와 같이 시험전 토양의 낮은 유기물 함량에 기인된 것으로 판단되었다.

**미생물 활성 지표** 토양 환경에 대한 미생물의 활성 지표로 사용되는 cy17:0과 16:1ω7c 및 cy19:0과 18:1ω7c 비율은 Fig. 1 및 Fig. 2와 같다. 생분해 필름 처리구의 cy17:0과 16:1ω7c 비율은 0.14였고 cy19:0과 18:1ω7c 비율은 0.50으로 PE 필름 처리구의 0.17 및 0.66 보다 유의적으로 낮았으며 ( $p < 0.05$ ) 무처리구 0.14 및 0.48과 유사한 결과를 나타냈다. 일반적으로 cy17:0과 16:1ω7c 비율과 cy19:0과 18:1ω7c 비율이 낮을수록 미생물의 활성은 증가된다 (Mechri et al., 2010). 이러한 원인은 영양원 불균형, 산성 토양, 토양의 수분 부족 등의 다양한 요인에 따라 cyclopropyl 지방산이 집적되어 미생물의 활성이 감소되는 것으로 알려져 있다 (Guckert et al., 1986; Grogan and Cronan, 1997). 이러한 결과로 볼 때 생분해 필름은 PE 필름 보다 토양 미생물의 활성을 높이고 미생물 생태계에 유리한 작용을 하는 것으로 판단되었다.

**토양 미생물 군집** 토양 미생물의 함량을 총 FAME 함량으로 나누어 미생물 군집을 분석한 결과는 Table 3과 같다 (Bossio and Scow, 1998; Schutter and Dick, 2000). 생분해 필름 처리구의 미생물 군집은 총 세균 30.4%, 곰팡이 16.1%, 그람음성 세균 15.8%, 그람양성 세균 13.1%, 내생균



**Fig. 1. Ratio of cy17:0 to 16:1ω7c of different mulch film soils for soybean cultivation. Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test. Bars represent one standard deviation of the mean.**



**Fig. 2. Ratio of cy19:0 to 18:1ω7c of different mulch film soils for soybean cultivation. Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test. Bars represent one standard deviation of the mean.**

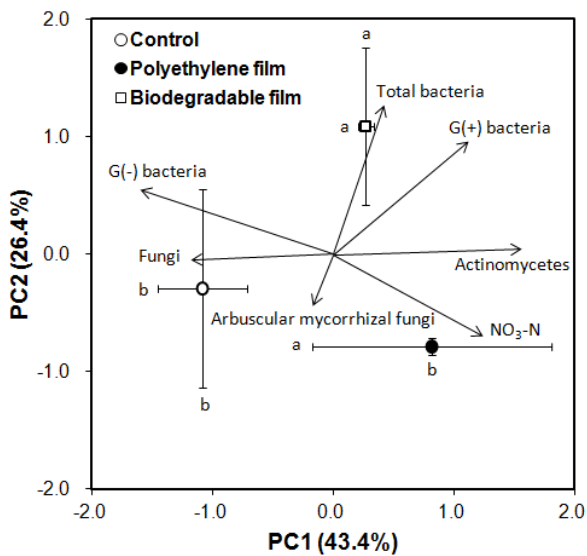
균 2.3%, 방선균 1.8%로 나타났다. 그람음성 세균 군집은 무처리와 생분해 필름 처리구가 PE 필름 처리구 보다 유의적으로 많았다 ( $p < 0.05$ ). 그람음성 세균의 군집은 일반적으로 토양환경의 변화에 매우 민감하게 반응하여 개체수가 감소한다 (Kieft et al., 1997; Lee and Lee, 2011). 그람음성 세균 군집이 많은 결과는 cy17:0과 16:1ω7c 및 cy19:0과 18:1ω7c 비율이 낮은 결과와 일치하였다 (Kim et al., 2015).

**Table 3. Microbial communities of different mulch film soils for soybean cultivation.**

Mulch film	B <sup>†</sup>	G (-)	G (+)	A	F	AMF
	----- % -----					
Control	29.2a <sup>‡</sup>	16.1a	11.6b	1.5a	18.1a	2.5a
Polyethylene film	29.3a	15.1b	12.6ab	1.9a	16.7a	2.6a
Biodegradable film	30.4a	15.8a	13.1a	1.8a	16.1a	2.3a

<sup>†</sup>B, total bacteria; G (-), gram-negative bacteria; G (+), gram-positive bacteria; A, actinomycetes; F, fungi; AMF, arbuscular mycorrhizal fungi.

<sup>‡</sup>Means followed by different letters within the same row are significantly different at a 0.05 significance level. according to Duncan's multiple range test.



**Fig. 3. Principal component analyses between microbial communities of different mulch film soils for soybean cultivation. The variance explained by each principal component (PC) axis is shown in parentheses. PC analysis shows loading values for the individual microbial biomarkers. The bars represent one standard deviation of the mean. Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.**

그람양성 세균 군집은 생분해 필름 처리구가 무처리 11.6% 보다 유의적으로 높았으며 ( $p < 0.05$ ) 총 세균, 방선균, 곰팡이, 내생균군군 군집은 처리간 유의적인 차이가 없었다.

멀칭 재료에 따른 수확기 토양의 미생물 군집과 질산태 질소 함량을 주성분 분석하였다 (Fig. 3). 주성분 분석결과 제1주성분이 43.4%, 제2주성분이 26.4%로서 전체 69.8%의 자료를 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 제1주성분은 그람 음성 세균이 가장 크게 기여하였고, 방선균, 질산태 질소 함량, 곰팡이, 그람양성 세균의 순으로 기여를 하였다. 그리고 제2주성분은 총 세균이 기여를 하였다. 그람양성 세균 군집은 토양의 질산태 질소 함량과 곰팡이 군집은 방선균 군집과 부의 상관관계를 나타냈다. 주성분 분석결과로 PC1에서 생분해 필름 처리구와 PE 필름 처리구는 무처리구와 유의적인

차이가 있었고 PC2에서는 생분해 필름 처리구는 무처리와 PE 필름 처리구와 유의적인 차이가 나타났다. 향후적인 연구에서는 생분해 필름을 이용할 경우 다양한 작물과 처리 시기에 따른 토양 미생물의 군집 변화를 지속적으로 모니터링 해야 할 것으로 생각된다.

### Conclusion

토양환경을 효과적으로 보전하고 관리하기 위해서 생분해 필름을 이용하여 콩 재배 토양의 미생물 군집에 미치는 영향을 PE 필름과 무처리를 비교하여 검토하였다. 수확기 토양의 질산태 질소 함량은 PE 필름 처리구가 무처리구와 생분해 필름 처리구에 비해 유의적으로 높았다. 토양의 스트레스 지표로 이용되는 *cy17:0*와 *16:1 $\omega$ 7c*, *cy19:0*와 *18:1 $\omega$ 7c* 비율은 생분해 처리구가 PE 필름 처리구에 비해 낮아 미생물이 받는 스트레스는 낮은 것으로 나타났다. 또한, 그람 음성 세균의 군집은 생분해 필름 처리구가 PE 필름 처리구에 비해 유의적으로 많았다. 이러한 결과로 볼 때 토양환경에 적응하는 토양 미생물 군집과 스트레스 감소에는 생분해 필름이 PE 필름에 비해 우수한 것으로 판단된다.

### References

Bossio, D.A. and K.M. Scow. 1998. Impacts of carbon and flooding on soil microbial communities: phospholipid fatty acid profiles and substrate utilization patterns. *Microb. Ecol.* 35:265-278.

Bradley, K., A. Rhae, R.A. Drijber, and J. Knopsc. 2006. Increased N availability in grassland soils modifies their microbial communities and decreases the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biol. Biochem.* 38:1583-1595.

Costa, R., A. Saraiva, L. Carvalho, and E. Duarte. 2014. The use of biodegradable mulch films on strawberry crop in Portugal. *Scientia Horticulturae.* 173:65-70.

Cowan, J.S., D.A. Inglis, and C.A. Miles. 2013. Deterioration of three potentially biodegradable plastic mulches before

- and after soil incorporation in a broccoli field production system in northwestern Washington. *HortTechnology*. 23(6): 849-858.
- Davinic, M., L.J. Fultz, V. Acosta-Martinez, F.J. Calderón, S.B. Cox, S.E. Dowd, V.G. Allen, J.C. Zak, and J. Moore-Kucera. 2012. Pyrosequencing and mid-infrared spectroscopy reveal distinct aggregate stratification of soil bacterial communities and organic matter composition. *Soil Biology and Biochemistry*. 46:63-72.
- Frostegård, Å., A. Tunlid, and E. Bååth. 1993. Phospholipid fatty acid composition, biomass and activity of microbial communities from two soil types experimentally exposed to different heavy metals. *Appl. Environ. Microbiol.* 59:3605-3617.
- Grogan, D.W. and J.E. Cronan. 1997. Cyclopropane ring formation in membrane lipids of bacteria. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 61:429-441.
- Guckert, J.B., M.A. Hood, and D.C. White. 1986. Phospholipid ester-linked fatty acid profile changes during nutrient deprivation of *Vibrio cholerae*: increases in cis/trans ratio and proportions of cyclopropyl fatty acid. *Appl. Environ. Microbiol.* 52:794-801.
- Hamel, C., K. Hanson, F. Selles, A.F. Cruz, R. Lemke, B. McConkey, and R. Zentner. 2006. Seasonal and long-term resource-related variations in soil microbial communities in wheat-based rotations of the Canadian prairie. *Soil Biol. Biochem.* 38:2104-2116.
- Jones, R.T., M.S. Robeson, C.L. Lauber, M. Hamady, R. Knight, and N. Fierer. 2009. A comprehensive survey of soil acidobacterial diversity using pyrosequencing and clone library analyses. *ISME J.* 3, 442-453.
- Jung, P.K., K.S. Lee, M.H. Ko, K.T. Um, and H.S. Ha. 1985. Effects of mulching practices on soil temperature and soil physical properties. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 18(4): 366-372.
- Kasirajan, S. and M. Ngouajio. 2012. Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review. *Agron. Sustain. Dev.* (2012) 32:501-529.
- Kieft, T.L., E. Wilch, K. O'connor, D.B. Ringelberg, and D.C. White. 1997. Survival and phospholipid fatty acid profiles of surface and subsurface bacteria in natural sediment microcosms. *Appl. Environ. Microbiol.* 63:1531-1542.
- Kim E.S. and Y.H. Lee. 2011. Response of soil microbial communities to applications of green manures in paddy at an early rice growing stage. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:221-227.
- Kim, M.K., Y.S. Ok, J.Y. Heo, S.L. Choi, S.D. Lee, H.Y. Shin, J.H. Kim, H.R. Kim, and Y.H. Lee. 2014. Analysis of soil microbial communities formed by different upland fields in Gyeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 47:100-106.
- Kim, M.K., Y.K. Sonn, H.Y. Weon, J.Y. Heo, J.S. Jeong, Y.J. Choi, S.D. Lee, H.Y. Shin, Y.S. Ok, and Y.H. Lee. 2015. Impacts of soil texture on microbial community of orchard soils in Gyeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 48(2):81-86.
- Kim, W.H. and B.H. Hong. 1986. Effects of mulching materials on physical properties of soil and grain yield of sesame. *Korean J. Crop Sci.* 31(3):260-269.
- Lee, Y.H. and H. Kim. 2011. Response of soil microbial communities to different farming systems for upland soybean cultivation. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 54(3):423-433.
- Lee, Y.H. and H.D. Yun. 2011. Changes in microbial community of agricultural soils subjected to organic farming system in Korean paddy fields with no-till management. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 54(3):434-441.
- Lee, Y.H. and S.T. Lee. 2011. Comparison of microbial community of orchard soils in Gyeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:492-497.
- Lee, Y.H. and S.K. Ha. 2011a. Impacts of chemical properties on microbial population from upland soils in Gyeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(2):242-247.
- Lee, Y.H. and S.K. Ha. 2011b. Impacts of topography on microbial community from upland soils in Gyeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(3):485-491.
- Macalady, J.L., M.E. Fuller, and K.M. Scow. 1998. Effects of metam sodium fumigation on soil microbial activity and community structure. *J. Environ. Qual.* 27:54-63.
- Mechri, B., H. Chehab, F. Attia, F.B. Mariem, M. Braham, and M. Hammami. 2010. Olive mill wastewater effects on the microbial communities as studied in the field of olive trees by analysis of fatty acid signatures. *Eur. J. Soil Biol.* 46:312-318.
- Miles, C., R. Wallace, A. Wszelaki, J. Martin, J. Cowan, T. Walters, and D. Inglis. 2012. Durability of potentially biodegradable alternatives to plastic mulch in three tomato production regions. *HortScience* 47(9):1270-1277.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2010. Methods of soil chemical analysis. Suwon, Korea.
- Rhoads, F.M., C.S. Gardner, O.S. Mbuya, G.L. Queeley, and H.M. Edwards. 1999. Tomato fertilization, ground cover, and soil nitrate nitrogen movement. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 112:315-319.
- Romic, D., M. Romic, J. Borosic, and M. Poljak. 2003. Mulching decreases nitrate leaching in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivation. *Agr. Water Manage.* 60:87-97.
- Olsson, P.A., R. Francis, D.J. Read, and B. Söderström. 1998. Growth of arbuscular mycorrhizal mycelium in calcareous dune sand and its interaction with other soil microorganisms as estimated by measurement of specific fatty acids. *Plant Soil* 201:9-16.
- Park, J.H., M.K. Kim, B.J. Lee, H.R. Kim, Y.H. Lee, and Y.S. Cho. 2014. Diversity of soil microbial communities

- formed by different light penetrations in forests. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 47:496-499.
- SAS Institute. 2006. SAS Version 9.1.3. SAS Inst., Cary, NC.
- Schutter, M.E. and R.P. Dick. 2000. Comparison of fatty acid methyl ester (FAME) methods for characterizing microbial communities. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1659-1668.
- Yang, S.R. and C.H. Wu. 1999. Degradable plastic films for agricultural applications in Taiwan. *Macromol. Symp.* 144(1): 101-112.
- Zelles, L. 1997. Phospholipid fatty acid profiles in selected members of soil microbial communities. *Chemosphere* 35: 275-294.