

## Effects of Bio-degradable Mulches on the Yield of Maize and the Density of Soil Microbe

Soo-Jeong Lim\*, Min-Bum Lee<sup>1</sup>, Se-Won Kim, Jang-Su Kim, Su-Jeong Heo, Seung-Chul Choi, Byeong-Sung Yoon, and In-Jong Kim

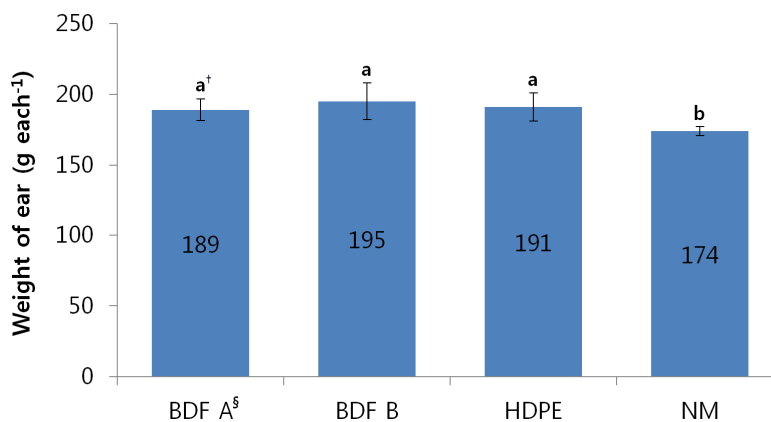
Gangwondo Agricultural Research & Extension Services, Chuncheon 24226, Korea

<sup>1</sup>Ilshin Chemical Co., Ansan 15409, Korea

(Received: July 14 2016, Revised: August 26 2016, Accepted: August 29 2016)

The use of polyethylene film has a problem such as increasing rural environmental contamination, collection costs and farmers' workload. The objective of this study was to evaluate bio-degradable films in terms of yield of maize and soil environment. Treatments were bio-degradable film A (BDF A), bio-degradable film B (BDF B), high density polyethylene (HDPE), and non-mulched (NM) soil. Daily mean values of soil temperature (10 cm depth) under BDF A, BDF B, and HDPE were higher than in NM soil by 2.2, 2.8, 3.1 °C respectively. In the mulching cultivation of maize, bio-degradable film began to degrade from 50~60days after the planting. The degradation was much progressed in the harvest time and almost decomposed in the following spring. The weight of ear of maize was not shown significantly by mulching treatments. There were little changes of soil chemical properties for the bio-degradable film mulching. After using bio-degradable films, the contents of biomass-C and dehydrogenase activity increased from 92 to 137~147 mg kg<sup>-1</sup>, and from 87 to 123~168 mg kg<sup>-1</sup> respectively.

**Key words:** Bio-degradable film, High density polyethylene, Maize, Microbe, Chemical properties



Weight of ear of maize by type of mulching materials.

<sup>§</sup>BDF A (Bio-Degradable Film A), BDF B (Bio-Degradable Film B), HDPE (High Density Polyethylene), NM (Non-Mulched).

<sup>†</sup>Treatment with the same letter with a column are not significantly different (Duncan test,  $p < 0.05$ ).

\*Corresponding author: Phone: +82332486094, Fax: +82332486100, E-mail: sjlim0417@korea.kr

<sup>§</sup>Acknowledgement: This research was carried out with the support of "the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (Project No. 313008-03-3-HD020)".

## Introduction

멀칭은 농작물 재배 시 잡초방제를 위하여 널리 이용되는 농자재다. 우리나라에서는 1980년 이전까지만 해도 볏짚 등의 초목류를 이용하였고, 폴리에틸렌 필름이나 종이류를 개발·이용 하였다 (Jeon et al., 2006). 작물재배 시 멀칭은 잡초생육을 억제하는 효과뿐만 아니라 양분유실 저감, 지온 상승 등 다양한 효과가 보고된 바 있다 (Kwon and Lee, 1984). 특히 폴리에틸렌 멀칭은 온도가 낮은 시기에 지온 상승에 의한 작물 수량증진 효과가 있다고 하였다 (Lim et al., 1988). 그러나 대기온도가 높은 시기의 멀칭은 높은 토양 온도 상승에 의해 작물의 수량이 오히려 감소된다는 보고도 있다 (Miller, 1986). 따라서 대기온도가 낮은 봄에는 흑색멀칭이 토양 온도 상승에 효과적이고 (Hatt et al., 1995), 여름에는 과도한 온도 상승을 억제하는 흰색멀칭이 흑색멀칭보다 작물수량 증수에 효과가 있다고 하였다 (Schalk and Robbins, 1987). 그러나 비닐피복재배는 이러한 장점 외에 몇 가지 문제점을 안고 있다. 작물을 폴리에틸렌 필름으로 멀칭 하여 재배 할 경우 수확작업 후 비닐을 걷어야 하는데, 이때 흙속에 묻혀있거나 토양표면에 엉켜 붙은 비닐을 수거 하는데 많은 노동력이 든다. 이외에도 토양에 남은 비닐은 분해되는데 오랜 기간이 걸려 토양오염 및 환경오염을 야기 시키기도 하며, 밭 주위에 방치되어 농촌경관을 훼손하기도 한다. 2009년 우리나라의 농촌 폐비닐 발생량은 34만톤이었으며, 이 중 60%도 수거되지 않고 있는 실정이고, 나머지는 토양 중에 잔류하거나 농경지와 농경지 주변환경에 버려진다. 각 지자체와 정부는 해마다 폐비닐 수거에 많은 노력과 비용을 지불하는 실정이다. 폴리에틸렌 필름은 소각이나 매립 할 경우 환경호르몬 유출, 다이옥신 발생 등 사회적 문제를 야기하고 있다 (Gracia et al., 1992). 따라서 현재 농업용 멀칭재료는 폴리에틸렌 필름의 이러한 문제점을 해결하기 위해 물성은 폴리에틸렌 필름과 같으면서 사용 후에 미생물, 광선, 지열 등에 의해 쉽게 분해될 수 있는 환경 친화적이고 무해한 분해성 필름개발에 대한 요구가 높아지고 있다 (Jung et al., 1999). 분해성 플라스틱은 제조에 사용되는 소재와 분해되는 반응에 따라 생분괴성, 광분해성, 생분해성으로 나누어진다 (Doane, 1992). 생분괴성 플라스틱이란 기본적으로 폴리에틸렌 등에 전분과 같은 미생물에 의해 분해 가능한 물질을 일정 부분 첨가하여 붕괴되는 특성을 가지고 있다. 그러나 이러한 플라스틱은 붕괴성은 인정

되지만, 완전한 생분해성의 의미로 볼 수는 없으며, 분해가 되지 않은 플라스틱은 토양 혹은 그 주변에서 오염물질로 작용 할 수 있다. 광분해성 플라스틱은 태양광의 작용에 의해 분해되는 플라스틱을 말하며, 폴리에틸렌 필름에 광 증감제, 금속화합물 등이 첨가되어 분해 중에 환경오염을 일으킬 우려가 있어 적합한 방법이라 볼 수 없다 (Scott, 1990). 생분해성 필름은 미생물이 생산하는 바이오플라스틱, 전분이나 지방족 폴리에스테르 등의 천연소재를 주성분으로 하여 제조하는 것과 여기에 분해성을 부여한 화학합성 플라스틱으로 분류할 수 있다 (Shin et al., 1995). 이들은 모두 땅속에 묻거나 바다 속에 버려두면 세균이나 조류, 곰팡이와 같은 자연에 존재하는 미생물에 의해 분해되어 저분자 화합물이 되었다가 최종적으로 물과 이산화탄소 또는 물과 메탄가스로 분해가 이루어진다.

본 연구는 수확 후 멀칭비닐의 수거 노동력 저감과 농촌 환경 오염의 원인이 되고있는 폐비닐 처리 등의 문제를 해결하기 위하여, 최근 개발된 생분해성 필름을 사용하여 옥수수의 생육과 수량에 미치는 영향과 환경에 대한 안전성을 구명하고, 피복재료로의 이용 가능성을 검토하고자 수행하였다.

## Materials and Methods

본 시험은 2014~2015년에 춘천시 소재한 강원도농업기술원 시험연구포장에서 수행하였으며, 시험 전 토양의 화학성은 Table 1과 같다. 토양산도 (pH)는 7.2로 약간 높았다. 전기전도도 (EC), 토양유기물 (SOM) 함량은  $0.1 \text{ dS m}^{-1}$  과  $11.5 \text{ g kg}^{-1}$ 로 낮은 편이었다. 치환성 칼슘은 적정수준이나 치환성 칼리와 마그네슘, 유효인산 함량은 낮아 전체적으로 척박한 수준의 토양이었다. 비료량은 토양검정에 의해 산출하였으며, 질소  $23 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 는 50%씩 2회 분시 하였고, 인산 (14.9)과 칼리 (14.9), 퇴비 (2,000)는 전량기비로 처리하였다.

시험에 사용한 생분해성 필름은 지방족 폴리에스테르 (PBSA, Polybutylene-co-adipate terephthalate)에 PLA (Poly lactic acid)와 변성전분 (Theomo Plastic Starch)을 혼합, 생육이 3개월 내에 재배가 끝나는 작물을 대상으로 한 BDF A (Bio-degradable Film A)와 3개월 이후에 재배가 끝나는 작물에 적용하는 BDF B (Bio-degradable Film B)로 구분하였다. 그 외 HDPE (High density polyethylene)구와 NM (Non-

**Table 1. Chemical properties of the soil used in this experiment.**

pH (H <sub>2</sub> O, 1:5)	Electrical conductivity	Organic Matter	Available P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exchangeable cation		
				K	Ca	Mg
	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----		
7.2	0.10	11.5	128	0.4	5.0	1.2

mulched)구로 처리하였다. 시험구는 난괴법 3반복으로 배치하였고, 시험품종은 미백 2호, 재식거리는 70×30 cm, 파종은 1년차, 2년차 모두 4월 24일, 수확은 7월 21일 수행하였다. 시험구의 제초는 파종 후 30일 1회 실시 하였다. 옥수수의 생육 및 수량은 농촌진흥청 표준조사법에 준하였고 (RDA, 2003), 결과 값의 통계분석은 SAS (9.2)를 사용하여 Duncan의 다중검정을 실시하였다.

토양은 음건하여 2 mm 체에 통과된 것을 화학성분 분석에 사용 하였다. 화학성분 분석은 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법 (NAAS, 2000)을 적용하였다. pH와 EC는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 초자 전극법으로 측정 하였고, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 양이온은 1N CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> (pH 7.0)로 추출하여 유도결합플라즈마분광광도계 (GBC, Inductively Coupled Plasma, Victoria Australia)로 측정하였다.

멀칭필름의 분해 개시기는 육안으로 비닐이 분해되기 시작한 때로 하였으며, 멀칭필름의 중량 감소분은 수확기에 필름의 일정량을 채취, 깨끗한 물로 세척하고, 잘 말린 후에 멀칭 전 무게와 비교하여 감소한 비율로 나타내었다. 지온 조사를 위하여 온도센서를 처리별 두둑의 토중 10 cm에 매설하고 데이터 로거를 이용하여 2시간 간격으로 측정 하였다.

토양미생물상 조사용 시료는 수확 후 채취하여 분석 하였다. 세균은 NA 배지를 사용하여 분리하였고, 사상균은 Rose bangal 한천배지, 방선균은 전분 Casein 한천배지를 각각 사용하였다. 각각의 배지에 토양희석액을 도말한 후 세균, 사상균, 방선균을 25°C에서 3일간 배양 후 조사하였고, Microbial biomass C는 토양시료를 클로로포름으로 혼중하여 0.5 M K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액으로 분해하고 황산제1철암모늄 용액으로 적정하였다. 탈수소효소 (Dehydrogenase) 활성도 측정은 CaCO<sub>3</sub>와 3% TLC (2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride)용액을 혼합한 후 여과하여 UV/Vis Spectrophotometer로 485 nm에서 흡광도를 측정하였다.

## Results and Discussion

Fig. 1은 옥수수 작기 중 토양 지중 10 cm 부분의 평균지

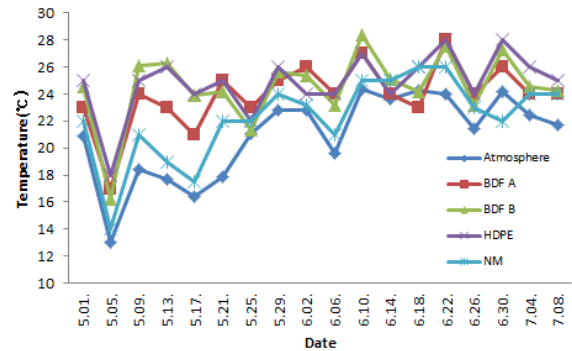


Fig. 1. Change of soil temperature at 10 cm depth of soil as influenced by type of mulching materials.

온을 나타냈다. 생육기 동안 일평균 지온의 합은 HDPE구에서 1,711°C로 가장 높았고, BDF B구는 1,690°C, BDF A구는 1,649°C NM구는 1,497°C 순이었다. Yun et al. (2011)은 5월초부터 6월말까지 일평균 지온이 HDPE구가 NM구 보다 2°C 높다고 보고 하였는데, 본 시험에서도 HDPE구의 일평균 지온이 NM구 보다 3.1°C 높았고, BDF A구와 BDF B구 또한 NM구 보다 각각 2.2°C, 2.8°C 높게 조사되었다.

Table 2는 옥수수의 생육시기별 멀칭필름의 육안 분해도와 수확기 중량 감소분을 나타내고 있다. BDF A구는 파종 후 50일, BDF B구는 파종 후 60일경부터 두둑 측면과 파종 구멍에서 분해가 시작되었다. 파종 후 50~60일 정도일 때 생분해성 필름이 분해되어도 옥수수의 지상부가 번무하여 잡초발생이 억제되었다. 수확기 중량감소분에 의한 분해율은 BDF A가 30%로 높았고, BDF B는 25%, HDPE는 1% 였다.

Fig. 2는 생분해성 필름과 관행필름의 분해정도를 보여 주고 있다. 60×40×10 cm 사각 포트에 토양을 충진 HDPE와 BDF B로 멀칭한 후 주기적으로 관수하고 생분해성 필름의 분해정도를 관찰한 결과이다 (①). 그림에서 나타난 결과와 같이 사람이 인위적으로 훼손하지 않는 한 멀칭 후 90일까지는 멀칭효과를 유지 할 수 있을 것으로 예상되며, 180일 이 후에는 분해가 많이 진전 되었다. 옥수수의 작기 중에는 생분해성 필름이 온전히 유지 되었으며 (②), 수확 후 옥수수 지상부와 남은 비닐을 제거하지 않고 로터리 작업이 가능하여 농작업의 편의성이 획기적으로 증대 될 것으로 판단된다. 비닐을 제거하지 않은 시험구는 이듬해 봄에

Table 2. Mulching film degradation degree.

Treatment <sup>†</sup>	Visually decomposition start time (days after planting)	Degradation degree (Visually, %)		Weight reduction (%)
		Flowering stage (6.24.)	Harvest time (7.21.)	
BDF A	50	7	35	30
BDF B	60	5	30	25
HDPE	-	-	-	1
NM	-	-	-	-

<sup>†</sup>BDF A (Bio-Degradable Film A), BDF B (Bio-Degradable Film B), HDPE (High Density Polyethylene), NM (Non-Mulched).

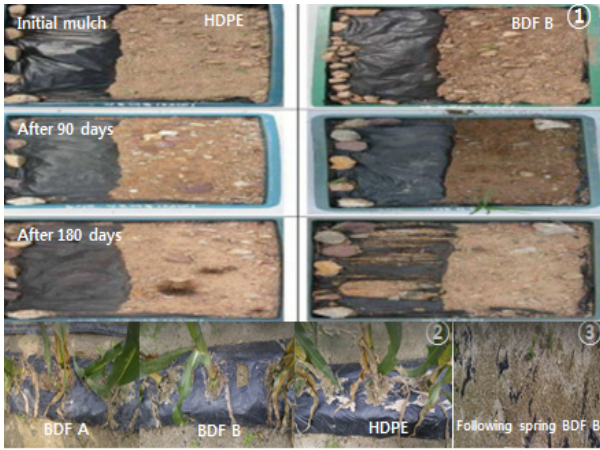


Fig. 2. Degradation degree of bio-degradable films.

는 거의 분해되었고 ③, Lee et al. (2009)의 연구결과와 같은 경향이였다.

옥수수의 수확기 생육은 Table 3과 같다. 간장은 BDF B 처리가 195 cm로 가장 컸고, HDPE > BDF A > NM 순이었으나 NM구를 제외하고 통계적 유의성은 없었다. 이삭장, 이삭폭, 착립장, 이삭열수, 열당립수도 처리간 통계적 유의성은 없어, 생분해 필름으로 멀칭 하면 관행 (HDPE)과의 생육 차이는 없을 것으로 생각된다.

Fig. 3은 처리별 옥수수의 이삭중을 보여주고 있다. BDF B구의 개체당 이삭중은 195 g으로 가장 무거웠고, HDPE > BDF A > NM 순이었다. NM구를 제외하고 통계적 유의성은 없었으며, Lee et al. (2009)의 결과와 같은 경향이였다. 지온 상승은 뿌리의 활성증진에 의해 작물의 생산량을 증가

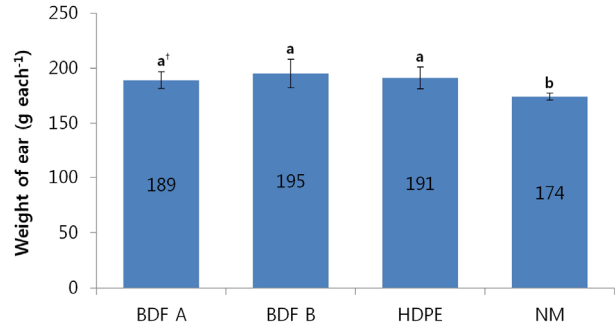


Fig. 3. Weight of ear of maize by type of mulching materials.

시키지만 (Dodd et al., 2000), 대부분의 식물뿌리는 생육적온을 가지고 있다 (Paulsen, 1994). 식물뿌리는 생육적온 이하에서 지온 상승과 생산량 증가는 정의 상관관계를 보이지만 (Paulsen, 1994), 생육적온 이상의 지온 상승은 생산량이 감소 할 수 있다고 알려져 있다 (Cooper, 1973). 본 시험에서 HDPE구의 일평균 지온은 BDF B구보다 0.30°C 높았으나 이삭중의 무게는 오히려 반대의 결과를 나타냈다. 이는 온도의 상승폭이 좁고, 또한 뿌리활성 증진에 기여하는 요인이 지온 외에 지력, 토양물리성, 토양미생물 등 여러 요인이 있기 때문인 것으로 생각되며, 추후 면밀한 검토가 필요로 할 것이다. 종합해보면, 생분해성 필름을 사용할 때 옥수수의 목표수량을 얻는데 불리한 점은 없는 것으로 판단된다.

옥수수를 재배한 후 토양의 화학성은 Table 4와 같다. pH는 6.5~7.0, EC 0.12~0.17 dS m<sup>-1</sup>, 유기물 16.5~21.2 g kg<sup>-1</sup>, 인산 256~383 mg kg<sup>-1</sup> 등으로 차이의 폭은 적었다. 시험 전 토양이 척박하여 비료사용처방서에 따라 비료를 처

Table 3. Growth and yield components of maize at harvest time.

Treatment	Plant height (cm)	Length of ear (cm)	Width of ear (cm)	Ear setting length (cm)	Ear row number (rows)	Kernel number in a row (kernels)
BDF A	192 a <sup>†</sup>	20.6 a	43.6 a	19.0 a	14.6 a	37.6 a
BDF B	195 a	20.7 a	43.2 a	19.3 a	14.8 a	37.8 a
HDPE	193 a	20.8 a	42.5 a	19.5 a	14.2 a	38.5 a
NM	181 b	21.2 a	41.7 a	18.5 a	14.7 a	36.2 a

<sup>†</sup>Treatment with the same letter with a column are not significantly different (Duncan test, *p* < 0.05).

Table 4. Chemical properties of soil after maize cultivation.

Treatment	pH (H <sub>2</sub> O, 1:5)	Electrical conductivity (dS m <sup>-1</sup> )	Organic Matter (g kg <sup>-1</sup> )	Available P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Exchangeable cation (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		
					K	Ca	Mg
BDF A	7.0 a <sup>†</sup>	0.17 a	21.2 a	383 a	1.0 a	5.2 ab	1.3 b
BDF B	7.0 a	0.15 a	17.5 b	313 b	1.0 a	4.6 b	1.4 b
HDPE	6.5 b	0.15 a	16.5 b	263 c	1.1 a	6.8 a	2.1 a
NM	6.8 ab	0.12 b	17.0 b	256 c	0.9 a	4.6 b	0.9 c
Before experiment	7.2 a	0.10 b	11.5 c	128 d	0.4 b	5.0 ab	1.2 b

<sup>†</sup>Treatment with the same letter with a column are not significantly different (Duncan test, *p* < 0.05).

**Table 5. Soil microbial distribution of the soil after experiment.**

Treatment	Bacteria ( $\times 10^7$ )	Actinomycetes ( $\times 10^7$ )	Fungi ( $\times 10^3$ )	Biomass C ----- mg kg <sup>-1</sup> -----	Dehydrogenase
	----- CFU soil g <sup>-1</sup> -----				
BDF A	0.3 b <sup>†</sup>	0.9 a	3.2 b	137 a	123 ab
BDF B	0.3 b	0.1 b	2.2 c	147 a	168 a
HDPE	1.0 a	0.1 b	5.6 a	127 a	85 b
NM	1.1 a	0.4 b	2.2 c	99 b	81 b
Before experiment	0.9 a	0.1 b	2.4 c	92 b	87 b

<sup>†</sup>Treatment with the same letter with a column are not significantly different (Duncan test,  $p < 0.05$ ).

리하여 EC와 유기물함량은 시험 전 보다 약간 높아졌다. 칼리, 마그네슘도 같은 경향이었다. 칼슘은 석회사용량이 없어 작물체가 흡수하는 감소 요인만 있었으나, 처리 간 약간의 차이는 있었다. 생분해성 필름 사용으로 인한 토양의 큰 변화는 없는 것으로 판단된다.

멀칭필름 처리별 미생물상 변화는 Table 5와 같다. 생분해성 필름이 분해되면 탄소가 잔류되어 일반적으로 미생물체량이 많아질 것으로 예상 했으나, 세균은  $0.3\sim 1.1 \times 10^7$  CFU soil g<sup>-1</sup>이었고, HDPE구와 NM구에서 각각  $1.0 \times 10^7$ ,  $1.1 \times 10^7$  CFU soil g<sup>-1</sup>로 BDF구 보다 3배 가량 높았다. 이는 미생물체량은 유기물질이 많을수록 높아진다는 보고 (Lee and Ha, 2011; Kim et al., 2012)와 다른 결과였는데, Lim et al. (1979)이 1~2회의 토양실험에서 기대한 결과를 얻기는 힘들다는 보고와 같이 노지시험 조건에서 환경요인의 한계가 있었기에 면밀한 검토가 필요할 것으로 생각된다. 방선균은 BDF A구가  $0.9 \times 10^7$  CFU soil g<sup>-1</sup>로 가장 많았다. 사상균은 처리구별로  $2.2\sim 5.6 \times 10^3$  CFU soil g<sup>-1</sup>으로 HDPE > BDF A > BDF B = NM 순이었으나, 위에서 언급한 바와 같이 한 요인에 의한 결과로 생각되지는 않는다. 토양미생물을 대표하는 정량적 지표인 Biomass C함량은 99~147 mg kg<sup>-1</sup> 범위로 BDF B > BDF A > HDPE > NM 순이었으며, 멀칭 필름 처리 간 통계적 유의성은 없었다. 토양생태계의 건전성 지표로 이용되고 있는 Dehydrogenase 활성은 BDF B 처리구가 168 mg kg<sup>-1</sup>으로 가장 높았고 HDPE구와 유의적인 차이를 보여, 생분해성 필름으로 멀칭 하여 토양미생물의 건전성이 높아진 것으로 판단된다.

### Conclusion

농업인의 고령화로 인한 수거 노동력의 부족과 폴리에틸렌 필름의 토양잔류나 방치에 의한 환경오염을 최소화 하고자 옥수수를 대상으로 생분해성 필름의 사용 가능성을 검토하였다. 생분해성 필름은 멀칭 후 50~60일 후에 분해가 시작되었고, 정식 후 90일경 필름무게의 감소분이 25~30% 정도였으며, 이듬해 봄에 대부분 분해가 완료되었다. 옥수수

의 개체당 이삭중은 BDF B 처리 시 195 g으로 가장 무거웠고, HDPE (191 g), BDF A (189 g) 순이었으나, 통계적으로 유의성 있는 차이는 나타나지 않았다. 생분해성 필름 사용으로 토양의 화학성 변화는 거의 없는 것으로 판단되고, 미생물상의 경우 Biomass C, Dehydrogenase 활성은 BDF 처리 시 각각 137~147 mg kg<sup>-1</sup>, 123~168 mg kg<sup>-1</sup>으로 HDPE 127 mg kg<sup>-1</sup>, 85 mg kg<sup>-1</sup> 보다 높았다. 따라서 옥수수 재배에 생분해성 필름을 사용하면 수량성을 확보하고 비닐수거 노동력을 절감할 수 있어 농업현장에서 이용가치가 높을 것으로 판단된다.

### References

Cooper, A.J. 1973. Root temperature and plant growth - A review. Commonwealth Agr. Bureaux, Slough, U.K.

Doane, W.M. 1992. USDA research on starch-based biodegradable plastics. *Starch*. 44:216-219.

Dodd, I.C., J. He, C.G.N. Turnbull, S.K. Lee, and C. Critchley. 2000. The influence of supra-optimal root-zone temperature on growth and stomatal conductance in *Capsicum annuum* L.J. *Expt. Bot.* 51:239-248.

Gracia, C., T. Hernandez, and F. cotea. 1992. Comparison of humic acids derived from city refuse with more developed humic acids. *Soil Sci. Plant Nutr.* 38:339-346.

Hatt, H.Q., D. Decoteau, and D.E. Linvill. 1995. Development of a polyethylene mulch system that changes color in the field. *HortScience*. 30:265-269.

Jeon, W.T., W.H. Yang, S.W. Roh, and M.T. Kim. 2006. Influence of controlled-release fertilizer levels on rice growth, weed control and nitrogen efficiency in paper mulching transplanting. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39:345-350.

Jung, B.W., C.H. Shin, Y.J. Kim, S.H. Jang, and B.Y. Shin. 1999. A study on the biodegradability of plastic films under controlled composting condition. *J. Int. Industrial Technol.* 27:107-116.

Kim, K.C., B.K. Ahn, H.G. Kim, and S.S. Jeong. 2012. Effect of expeller cake fertilizer application on soil properties and red mustards (*Brassica Juncea* L.) yield in soil of organic farm of plastic film greenhouse. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45:1022-1026.

- Kwon, O.D. and J.M. Lee. 1984. Effect of different mulching on the growth, pod yield and nodule development in 3 snapbean cultivars. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 25:212-217.
- Lee, J.S., K.H. Jeong, H.S. Kim, J.J. Kim, Y.S. Song, and J.K. Bang. 2009. Biodegradable plastic mulching in sweetpotato cultivation. *Korean J. Crop Sci.* 54:135-142.
- Lee, Y.H. and S.K. Ha. 2011. Impacts of chemical properties on microbial population from upland soils in gyeongnam province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:242-247.
- Lim, D.K., J.S. Shin, and K.S. Seong. 1988. Mono-granular compound fertilizer acting slow release for the crops under vinyl mulching cultivation. III. Effect of newly developed compound fertilizer on sesame. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 21:296-300.
- Lim, S.U., J.C. Ryu, and C.W. Hong. 1979. Study on the effects of an organic fertilizer on the yield of chinese cabbage and radish and the physico-chemical properties of soil *Korean J. Soil Sci. Fert.* 12:125-132.
- Miller, D.E. 1986. Root system in relation to stress tolerance. *HortScience.* 21:963-970.
- National Academy of Agricultural Science (NAAS). 2000. Methods of soil chemical analysis. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- Paulsen, G.M. 1994. High temperature responses. of crop plant, pp. 365-389.
- Rural Development Administration (RDA). 2003. Standard measurement and analysis in agricultural research and development, RDA, Suwon, Korea.
- Schalk, J.M. and M.L. Robinns. 1987. Reflective mulches influence plant survival, prouduction and insect control in fall tomatoes. *HortScience.* 22:30-32.
- Scott, G. 1990. Photo-biodegradable plastics: Their role in the protection of the environment. *Polym. Degrad. Stab.* 29:135-154.
- Shin, B.Y., H.B. Lee, and M.H. Cho. 1995. Photodegradable of HDPE film containing mechanically induced photosensitive groups. *Environ. Res.* 15:331-40.
- Yun, H.B., J.S. Lee, Y.J. Lee, R.Y. Kim, Y.S. Sang, S.G. Han, and Y.B. Lee. 2011. Chinese cabbage growth effected by black vinyl mulching and organic fertilizer application in spring season. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:1107-1111.