

## 콩 재배지에서 다양한 생분해성 멀칭필름 종류별 작물 생육, 수량 및 토양환경에 미치는 영향

김예건<sup>1</sup> · 우연후<sup>1</sup> · 박현화<sup>2</sup> · 이도진<sup>3</sup> · 국용인<sup>4,†</sup>

### Effects of Various Biodegradable Mulching Films on Growth, Yield, and Soil Environment in Soybean Cultivation

Ye-Guon Kim<sup>1</sup>, Yeon-Hu Woo<sup>1</sup>, Hyun-Hwa Park<sup>2</sup>, Do-Jin Lee<sup>3</sup>, and Yong-In Kuk<sup>4,†</sup>

**ABSTRACT** The objective of this study was to evaluate the safety of biodegradable mulching films in soybean (*Glycine max*) cultivation by measuring their effects on crop growth and yield, film decomposition and soil chemical and physical properties. In 2022 and 2023, plant height, branch number, chlorophyll contents, yield components, and yield of soybean did not vary significantly in areas using PE films and biodegradable mulching films. The light transmission rate of the biodegradable mulching films ranged from 6.4 to 15.8% when measured 112 days after soybean transplanting, and was higher, on average, in 2023 than in 2022. In both years, degradation of the biodegradable mulching films began 20 days after soybean transplantation and increased over time. In addition, remains of biodegradable mulching films were present in fields at soybean harvest and remained until 50 days after harvest. Decomposition rates of the biodegradable mulching films at 112 days after soybean transplanting ranged from 9.8 to 26.7% in 2022 and 13 to 36% in 2023. Although soil pH and EC varied based on the year and timing of measurements, there was no significant difference between areas that used biodegradable mulching films and PE films. Soil organic matter, nitrate and exchangeable cation contents such as Ca, Mg, and K were not significantly different in areas that used both PE films and biodegradable films. However, significantly higher levels of available phosphoric acid content were measured in areas that used biodegradable mulch films E, S, and T. Regardless of which films were used, there were no significant differences in the soil's physical properties. In 2022 and 2023, there was no difference between areas that used biodegradable mulch films and PE films. However, soil temperature in mulched areas was 2°C higher and soil moisture was 5-15% higher than in non-mulched areas. Barley growth was not affected by being planted in soil that had been used for soybean cultivation with biodegradable films. Therefore, the biodegradable mulch films used in this study can be used without negatively affecting the growth, yield, and soil environment of soybeans.

**Keywords** : biodegradable mulching film, chemical property, physical property, soil moisture, soil temperature, soybean

**농업용** Polyethylene (PE) 필름은 신축성과 내구성이 좋고, 가공하기 쉬우면서, 냄새와 독성이 없고, 가격이 저렴하여 멀칭재료로 가장 많이 사용되고 있다(Kyrikou & Briassoulis, 2007; Steinmetz *et al.*, 2016). 작물재배에 PE 필름을 멀칭

하면 토양온도와 토양수분을 높이며, 토양침식을 방지하고, 잡초발생을 막아 궁극적으로 작물생장과 수량을 증가시킨다(Cui & Lee, 2001; Kim & Hong, 1986; Tarara, 2000). 하지만 PE 멀칭필름은 토양에서 분해되지 않고, 사람이 직접

<sup>1</sup>순천대학교 석사과정 (MS Student, Dep. of Oriental Medicine Resources, Suncheon National Univ., Suncheon 57922, Republic of Korea)

<sup>2</sup>순천대학교 박사과정 (Ph. D Student, Dep. of Oriental Medicine Resources, Suncheon National Univ., Suncheon 57922, Republic of Korea)

<sup>3</sup>순천대학교 농업교육과 교수 (Professor, Dep. of Agricultural Education, Suncheon National Univ., Suncheon 57922, Republic of Korea)

<sup>4</sup>순천대학교 바이오한약자원학과 교수 (Professor, Dep. of Oriental Medicine Resources, Suncheon National Univ., Suncheon 57922, Republic of Korea)

<sup>†</sup>Corresponding author: Yong-In Kuk; (Phone) +82-61-750-3286; (E-mail) [yikuk@suncheon.ac.kr](mailto:yikuk@suncheon.ac.kr)

<Received 7 February, 2024; Revised 14 February, 2024; Accepted 15 February, 2024>

**Table 1.** Biodegradable films used in this study.

Films	Manufacture	Trade name	Major components	Film thickness (mm)
F	Farmhannong	Farmsbio	PBAT+PLA+CB	0.015
H	SejinBio	Hulgrofilm	PBAT+PLA+CB	0.015
V	Ecohansung	Vontofilm	-	0.012
E	GreanBio	Eco world 401	PBAT+Starch+CB	0.020
S	SeojinBiotech	Biodegradable mulching films	PBAT+PLA	0.015
T	Teasung	Biodegradable mulching films	PLA	0.015

\*PBAT (Poly-butylene adipate terephthalate), PLA (Poly-lacticacid), CB (Chlorobenzene).

수거해야 하므로 많은 노동력이 소요된다(Lee *et al.*, 2015). 따라서 PE 필름의 장점을 가지면서 환경오염 문제를 해결할 수 있는 방법 중의 하나가 농가에서 생분해성 플라스틱 필름을 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 생분해성 플라스틱 필름은 기계·화학적 분해, 광과 열에 의해 분해 및 미생물에 의해 분해되어 최종적으로 이산화탄소, 메탄, 물 등으로 되기 때문에 회수와 폐기가 필요하지 않다(Closas *et al.*, 2017; Kyrikou & Briassoulis, 2007; Qin *et al.*, 2021). 생분해성 플라스틱 소재 중 PBAT (Poly-butylene adipate terephthalate)와 PLA (Poly-lactic acid)가 생산량에서 각각 19%를 차지하여 가장 많이 사용되고 있다(Fan *et al.*, 2022; Touchaleaumem *et al.*, 2018). 그러나 PLA는 인장강도와 가공성이 우수하지만 열에 약하고, 쉽게 찢어지는 단점이 있기 때문에 유연성이 우수한 PBAT를 혼합하여 사용되고 있다(Kim *et al.*, 2016; Na *et al.*, 2006). 이러한 생분해성 멀칭필름은 국외에서 마늘, 옥수수, 토마토, 감자, 상추, 목화 및 딸기 등의 다양한 작물에 사용되고 있다(Costa *et al.*, 2017; Gao *et al.*, 2021; Lee *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2022; Ngouajio *et al.*, 2008; Souza *et al.*, 2020).

2023년 기준 우리나라 콩 재배면적은 67,671 ha이고 생산량은 141,477톤으로 주요 밭작물 중 하나이다(<http://kosis.kr>). 최근 중국에서는 생분해성 멀칭필름을 사용하여 콩을 재배하는 농가가 늘고 있다(Liang *et al.*, 2020). 그러나 우리나라의 경우는 콩 재배 시 생분해성 멀칭필름을 사용한 농가는 매우 제한적이다. 작물재배시 생분해성 멀칭필름을 사용하여도 PE 멀칭필름과 비교시 작물 생육 및 수확량의 변화가 없어야 하고, 잡초발생 억제와 지온과 수분함량을 유지되어야 하며, 토양의 용적밀도, 토양 다공성 등과 같은 물리성과 토양 pH, EC, 유효인산, 칼륨 등과 같은 화학성 등에 부정적인 영향이 없어야 한다(Meng *et al.*, 2022; Qin *et al.*, 2021; Shen *et al.*, 2022). 따라서 본 연구는 생분해성 멀칭 필름을 콩 재배지에 사용하였을 때 작물 생육 및

수량과 필름 분해율, 토양 화학성 및 물리성 등을 조사하여 궁극적으로 작물 재배에 안전하게 사용할 수 있는지를 알아보고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 식물재료

본 연구에서 사용된 콩(*Glycine max* (L.)), 품종: 대찬)은 2022년 시험의 경우는 2021년 전라남도농업기술원에서 생산한 종자를 분양받아 사용하였고, 2023년에는 2022년 시험포장에서 수확한 종자를 사용하였다. 콩 종자는 시험에 사용하기 전까지 4°C 냉장고에 보관하였다. 콩 멀칭 재배지 후작물 시험에 사용한 보리(*Hordeum vulgare* (L.)), 품종: 유호보리) 종자는 전라남도농업기술원에서 분양받아 사용하였다.

### 멀칭재료

본 연구에서 PE 필름(㈜서하P&D 필름) 1종과 생분해성 멀칭필름 6종을 사용하였으며, 각 필름의 주요 특성은 Table 1과 같다. 1년차(2022년)와 2년차(2023년) 연구의 필름 종류는 대부분 동일하나, 1년차에는 V 필름을 사용하였고, 2년차에는 V 필름 대신 E 필름을 사용하였다.

### 생분해성 멀칭필름 종류별 콩 생육, 수량 및 엽록소 함량

본 연구는 순천대학교 서면농장에서 2022년과 2023년 각각 6월~10월까지 수행되었다. 각 처리당 시험구 면적은 14.1 m<sup>2</sup>으로 하였다. 시비량 N-P-K 30-30-34 kg/ha 수준으로 맞추어 시비 후 3일에 각각 필름 종류별로 멀칭하였다. 멀칭 후 50 × 35 cm 재식거리에 맞추어 본엽 6엽기(15 cm) 콩을 2022년 7월 5일에 이식하였고, 2023년 시험에서는 6월 26일에 이식하였다. 이식 후 초장, 분지수 및 엽록소 함량 (Chlorophyll meter, SPAD-502Plus, KONICA MINOLTA,

Japan)을 14일 간격으로 수확기까지 조사하였다.

이식 후 개화기와 결협기를 조사하였고, 이식 후 115일이 지난 2022년 10월 27일과 2023년 10월 15일에 하엽이 진공의 주당 분지수, 협수, 백립중, 주당수량 및 수량을 조사하였다. 조사는 각 처리당 10주씩 3반복으로 조사하였다.

### 생분해성 멀칭필름 종류별 필름 분해 특성

콩 이식 후 14일 간격으로 생분해성 멀칭필름을 종류별로 20 cm<sup>2</sup>씩 채취하여 상온에서 24시간 건조 후 필름을 portable quantum sensor (SKP2200, Skye Instruments, UK)에 붙인 후 광(200 μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)을 조사하여 투과한 광을 측정하였다.

포장에 멀칭되어 있는 생분해성 멀칭필름의 붕괴정도를 10일 간격으로 채취하여 아래 0~5단계 기준에 근거하여 달관평가로 조사하였다(Yin *et al.*, 2019).

0, 원래 필름상태로 유지; 1, 필름 파편이 시작될 때; 2, 필름의 25%가 조그마한 파편이 보일 때; 3, 필름 파편이 2.0~2.5 cm 길이가 될 때; 4, 균일한 메쉬(mesh) 파편이 있고, 원래 필름상태로 유지하지 못할 때; 5, 필름 파편이 4 × 4 cm<sup>2</sup> 크기 이하로 될 때.

생분해성 멀칭필름 종류별 필름 무게 감소에 의한 분해율을 조사하였다. 조사는 이식 후 14일 간격으로 위의 “투과광 조사”에 사용한 필름을 사용하였다. 분해율은 멀칭 전에 필름의 무게와 멀칭 후 각 조사시기별로 조사한 무게를 측정하여 백분율로 표기하였다.

### 생분해성 멀칭필름 종류별 토양 환경에 미치는 영향

토양 pH와 EC 측정은 이식 후 14일마다 필름 종류별로 표토에서 15 cm 깊이의 토양을 100 g씩 3지점에서 채취하여 혼합하여 1반복으로 하고 각 처리당 3반복으로 하였다. 채취한 토양은 5일 동안 풍건한 후 2 mm체로 쳐서 사용하였다. 체로 친 토양 10 g을 50 mL 증류수에 혼합 후 왕복 진탕배양기(Shaking Incubator, HB-201SF, HANBECK SCIENTIFIC TECHNOLOGY, South Korea)에 30분간 진탕시켜 pH와 EC 측정기(Potable pH/EC/TDS/Temperature Meter, HI991300, HANNA instruments)을 이용하여 측정하였다.

토양 유기물 함량은 Tyurin 방법(Kononova, 1966)에 의해 측정하였다. 토양 시료 5 g을 0.33 M acetic acid, 0.15 M lactic acid, 0.03 M ammonium fluoride (NH<sub>4</sub>F), 0.05 M ammonium sulfate [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] 및 0.2 M NaOH (NaOH) 20 mL에 넣고 400±20°C 축열식 가열기에서 4시간 동안 분해하였다. 분해한 추출물에 가용성 인산(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)을 측정하기 위하여 자외선(UV)-분광광도계(UV-1601; Shimadzu, Tokyo, Japan)를 사용하여 470 nm에서 측정하였다(Cox, 2001). 칼

륨, 칼슘 및 마그네슘 함량은 5 g 토양을 50 mL의 1.0 M ammonium acetate pH 7에 넣고 추출하여 유도 결합 플라즈마 원자 방출 분광계(ICP-AES Integra XL; GBC Inc., Arlington Heights, IL, USA)를 사용하여 측정하였다(RDA, 2014). 질산태질소 함량은 2 M KCl 용액으로 침출한 후 비색측정법에 의해 측정하였다.

토성측정은 콩 수확 2주 전에 오거(Combination Soil Auger, ROTAL Eikelkamp, Netherlands)를 사용하여 표토~30 cm 흙 중 표토로부터 5 cm 토양을 걷어내고 채취하여 건조기에서 105°C에 24시간 동안 건조 후 2 mm 체에 거른 후 사용하였다. 거른 토양 시료 50 g을 분산제 5% Sodium hexametaphosphate와 0.7% Sodium carbonate 100 mL에 넣은 후 18시간 침지시켰다. 침지 후 10분간 교반한 후 메스 실린더에 옮긴 후 최종용적이 1 L가 되게 증류수를 넣고 상하로 20회 저어주었다. 그 후 4, 7, 24시간 후에 토양비중계(DK-713, ASTM152H, DeayoungLap, South Korea)로 비중을 측정하여 토양 구성비를 삼각도법으로 결정하였다.

용적밀도와 삼상의 측정은 토양시료캔(Stainless Sampling Tube, 100 mL, Shinill Science INC, South Korea)을 사용하여 필름당 3반복으로 측정하였다. 표토로부터 5 cm 깊이의 토양을 채취하여 건조 전 시료 무게와 건조기 105°C에서 24시간 동안 건조시킨 시료무게를 측정하여 용적밀도와 삼상을 측정하였다.

토양온도와 수분함량은 기상측정기(HOBO USB Micro Station Data Logger, ONSET, USA)를 각 처리구에 설치하여 시험 기간 동안 30분 간격으로 측정하였다.

### 생분해성 멀칭필름 종류별 콩 후작물(보리) 초기 생육에 미치는 영향

콩 수확 후 잔존해 있는 생분해성 멀칭필름에 의해 후작물의 생육에 영향을 미치는지 알아보기 위해 콩 수확 후 생분해성 멀칭필름 처리별 각각의 토양을 채취하였다. 각 처리당 채취한 토양은 포트(500 mL)에 넣고, 잔존해 있는 필름(포트 크기와 동일한 78.5 cm<sup>2</sup>)은 2 mm<sup>2</sup> 크기로 잘라 토양에 넣은 후 혼합하였다. 그 후 보리 종자를 각 포트당 5 개씩 파종하였다. 파종 후 7일에 발아율, 초장 및 지상부 생체중을 측정하였다.

### 통계처리

본 연구는 완전임의배치 3반복으로 하였으며, 연구결과는 Duncan's Multiple Range Test ( $p=0.05$ )을 이용하여 통계학적으로 유의성 검정을 하였다(SAS, 2000).

**결과 및 고찰**

**생분해성 멀칭필름 종류별 콩 생육, 수량 및 엽록소 함량에 미치는 영향**

2022년과 2023년에 콩 재배 시 사용한 생분해성 멀칭필름 종류별 콩의 초장과 분지수를 이식 후 14일 간격으로 수확기까지 조사하였다(Table 2). 2022년 시험에서 이식 후 14일, 28일, 42일 및 56일에 초장은 T필름이 다른 생분해성 멀칭필름(F, H, V 및 S)과 PE필름에 비해 유의적으로 컸다. 그러나 이식 후 70일과 84일에 초장은 필름 종류에 상관없이 유의적인 차이가 없었다. 이식 후 98일에 초장은

이식 후 84일에 비해 오히려 감소하였으나, 이는 수확기에 접어들면서 하엽에서 낙엽이 빨리 전개되었기 때문으로 사료되었다. 또한 이식 후 98일에 생분해성 H, V, S 및 T필름의 초장은 PE와 F 필름에 비해 유의적으로 적었다. 분지수의 경우는 조사 시기(이식 후 14일, 28일, 42일, 56일 및 70일)에 상관없이 PE필름과 생분해성 멀칭필름 간에 유의적인 차이가 없었다.

2023년 시험에서 초장과 분지수는 조사 시기에 상관없이 PE필름과 생분해성 멀칭필름 간에 유의적인 차이가 없었다. 그러나 이식 후 112일에는 초장이 이식 후 98일에 비해 오히려 감소했던 경향은 2022년 연구와 유사하게 수확기에 접어

**Table 2.** Effects of various biodegradable films on plant height and branch number of soybean plants in 2022 and 2023.

Year	Treatment	Plant height (cm)								Branch number				
		14 DAT	28 DAT	42 DAT	56 DAT	70 DAT	84 DAT	98 DAT	112 DAT	14 DAT	28 DAT	42 DAT	56 DAT	70 DAT
2022	Non-mulching	31.0 <sup>b</sup>	50.2 <sup>d</sup>	72.5 <sup>cd</sup>	77.4 <sup>bc</sup>	77.1 <sup>a</sup>	75.3 <sup>a</sup>	48.1 <sup>c</sup>	-	5.5 <sup>b</sup>	8.4 <sup>b</sup>	8.9 <sup>b</sup>	9.1 <sup>b</sup>	-
	PE	31.1 <sup>b</sup>	52.7 <sup>bc</sup>	80.6 <sup>a</sup>	80.8 <sup>ab</sup>	79.2 <sup>a</sup>	77.6 <sup>a</sup>	66.0 <sup>a</sup>	-	5.7 <sup>ab</sup>	9.7 <sup>a</sup>	9.9 <sup>a</sup>	9.8 <sup>ab</sup>	-
	F	31.4 <sup>b</sup>	54.1 <sup>ab</sup>	76.7 <sup>b</sup>	79.4 <sup>ab</sup>	78.7 <sup>a</sup>	76.5 <sup>a</sup>	62.2 <sup>a</sup>	-	6.0 <sup>ab</sup>	9.5 <sup>a</sup>	9.7 <sup>a</sup>	9.6 <sup>ab</sup>	-
	H	31.1 <sup>b</sup>	53.3 <sup>a-c</sup>	77.5 <sup>b</sup>	78.2 <sup>bc</sup>	78.1 <sup>a</sup>	75.9 <sup>a</sup>	56.4 <sup>b</sup>	-	6.0 <sup>a</sup>	9.4 <sup>a</sup>	9.6 <sup>a</sup>	9.6 <sup>ab</sup>	-
	V	30.7 <sup>b</sup>	52.3 <sup>c</sup>	71.2 <sup>d</sup>	75.4 <sup>c</sup>	77.7 <sup>a</sup>	76.8 <sup>a</sup>	52.7 <sup>bc</sup>	-	6.0 <sup>ab</sup>	9.8 <sup>a</sup>	10.0 <sup>a</sup>	9.9 <sup>a</sup>	-
	S	32.6 <sup>a</sup>	54.0 <sup>a-c</sup>	74.9 <sup>bc</sup>	79.2 <sup>ab</sup>	78.0 <sup>a</sup>	76.3 <sup>a</sup>	52.1 <sup>bc</sup>	-	5.8 <sup>a</sup>	10.0 <sup>a</sup>	10.1 <sup>a</sup>	9.8 <sup>ab</sup>	-
	T	32.8 <sup>a</sup>	54.9 <sup>a</sup>	80.4 <sup>a</sup>	82.6 <sup>a</sup>	77.4 <sup>a</sup>	75.9 <sup>a</sup>	47.3 <sup>c</sup>	-	5.9 <sup>ab</sup>	9.5 <sup>a</sup>	9.7 <sup>a</sup>	9.7 <sup>ab</sup>	-
2023	Non-mulching	20.4 <sup>a</sup>	33.9 <sup>b</sup>	63.9 <sup>a</sup>	81.0 <sup>a</sup>	84.0 <sup>b</sup>	84.0 <sup>a</sup>	89.9 <sup>a</sup>	49.4 <sup>a</sup>	4.1 <sup>a</sup>	7.1 <sup>b</sup>	7.8 <sup>b</sup>	9.0 <sup>a</sup>	9.3 <sup>a</sup>
	PE	22.3 <sup>a</sup>	36.0 <sup>ab</sup>	68.5	84.8 <sup>a</sup>	87.2 <sup>a</sup>	87.2 <sup>a</sup>	89.7 <sup>a</sup>	52.3 <sup>a</sup>	4.5 <sup>a</sup>	7.7 <sup>a</sup>	9.1 <sup>a</sup>	9.2 <sup>a</sup>	9.6 <sup>a</sup>
	F	22.5 <sup>a</sup>	36.7 <sup>a</sup>	67.8	86.3 <sup>a</sup>	87.3 <sup>a</sup>	87.3 <sup>a</sup>	88.2 <sup>a</sup>	49.5 <sup>a</sup>	4.2 <sup>a</sup>	7.6 <sup>ab</sup>	9.1 <sup>a</sup>	9.2 <sup>a</sup>	9.3 <sup>a</sup>
	H	22.3 <sup>a</sup>	37.5 <sup>a</sup>	68.7	86.1 <sup>a</sup>	87.0 <sup>a</sup>	87.0 <sup>a</sup>	88.2 <sup>a</sup>	49.4 <sup>a</sup>	4.1 <sup>a</sup>	7.7 <sup>a</sup>	8.9 <sup>a</sup>	9.2 <sup>a</sup>	9.3 <sup>a</sup>
	E	22.3 <sup>a</sup>	37.1 <sup>a</sup>	67.3	86.3 <sup>a</sup>	87.2 <sup>a</sup>	87.2 <sup>a</sup>	90.0 <sup>a</sup>	49.1 <sup>a</sup>	4.3 <sup>a</sup>	7.5 <sup>ab</sup>	9.0 <sup>a</sup>	9.0 <sup>a</sup>	9.3 <sup>a</sup>
	S	21.6 <sup>a</sup>	35.9 <sup>ab</sup>	67.4	86.3 <sup>a</sup>	87.2 <sup>a</sup>	87.2 <sup>a</sup>	90.6 <sup>a</sup>	51.2 <sup>a</sup>	4.3 <sup>a</sup>	7.6 <sup>a</sup>	9.0 <sup>a</sup>	9.2 <sup>a</sup>	9.2 <sup>a</sup>
	T	21.2 <sup>a</sup>	35.4 <sup>ab</sup>	67.1	86.1 <sup>a</sup>	86.7 <sup>a</sup>	86.7 <sup>a</sup>	89.4 <sup>a</sup>	48.4 <sup>a</sup>	4.2 <sup>a</sup>	7.8 <sup>a</sup>	8.9 <sup>a</sup>	9.0 <sup>a</sup>	9.3 <sup>a</sup>

\* DAT, days after transplanting; PE, Polyethylene film; F, H, V, S, and T, biodegradable films.

\*\* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.

**Table 3.** Effects of various biodegradable films on chlorophyll content (SPAD value) of soybean plants in 2023.

Treatment	28 DAT	42 DAT	56 DAT	70 DAT	84 DAT	98 DAT
Non-mulching	35.4 <sup>a</sup>	35.1 <sup>a</sup>	37.2 <sup>a</sup>	42.1 <sup>a</sup>	46.0 <sup>a</sup>	44.8 <sup>bc</sup>
PE	37.1 <sup>a</sup>	36.8 <sup>a</sup>	38.1 <sup>a</sup>	42.2 <sup>a</sup>	44.2 <sup>ab</sup>	45.7 <sup>a-c</sup>
F	36.5 <sup>a</sup>	35.5 <sup>a</sup>	38.0 <sup>a</sup>	43.1 <sup>a</sup>	43.3 <sup>ab</sup>	45.6 <sup>a-c</sup>
H	36.1 <sup>a</sup>	36.4 <sup>a</sup>	37.8 <sup>a</sup>	42.7 <sup>a</sup>	43.7 <sup>ab</sup>	47.2 <sup>ab</sup>
E	35.2 <sup>a</sup>	37.7 <sup>a</sup>	37.0 <sup>a</sup>	41.9 <sup>a</sup>	44.5 <sup>ab</sup>	46.6 <sup>a-c</sup>
S	37.4 <sup>a</sup>	35.4 <sup>a</sup>	38.3 <sup>a</sup>	41.7 <sup>a</sup>	45.3 <sup>a</sup>	44.4 <sup>c</sup>
T	36.4 <sup>a</sup>	36.4 <sup>a</sup>	38.1 <sup>a</sup>	42.2 <sup>a</sup>	39.4 <sup>b</sup>	48.1 <sup>a</sup>

\* DAT, days after transplanting; PE, Polyethylene film; F, H, V, S, and T, biodegradable films.

\*\* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.

**Table 4.** Effects of various biodegradable films on yield and yield components of soybean in 2022 and 2023.

Year	Treatment	Blooming period (DAT)	Podding period (DAT)	Branch (No./hill)	Pod (No./hill)	Seed weight (g/hill)	100 Seed weight (g)	Yield (kg/10a)
2022	Non-mulching	40.0 <sup>a</sup>	47.0 <sup>a</sup>	7.2 <sup>a</sup>	123.8 <sup>b</sup>	62.2 <sup>a</sup>	30.3 <sup>b</sup>	226.2 <sup>a</sup>
	PE	40.0 <sup>a</sup>	47.0 <sup>a</sup>	7.9 <sup>a</sup>	170.6 <sup>a</sup>	74.4 <sup>a</sup>	31.2 <sup>ab</sup>	270.5 <sup>a</sup>
	F	40.0 <sup>a</sup>	47.0 <sup>a</sup>	7.5 <sup>a</sup>	156.0 <sup>a</sup>	71.4 <sup>a</sup>	32.3 <sup>a</sup>	260.0 <sup>a</sup>
	H	40.0 <sup>a</sup>	47.0 <sup>a</sup>	7.4 <sup>a</sup>	159.1 <sup>a</sup>	73.1 <sup>a</sup>	30.7 <sup>ab</sup>	266.2 <sup>a</sup>
	V	40.0 <sup>a</sup>	47.0 <sup>a</sup>	7.5 <sup>a</sup>	163.7 <sup>a</sup>	72.3 <sup>a</sup>	31.2 <sup>ab</sup>	263.3 <sup>a</sup>
	S	40.0 <sup>a</sup>	47.0 <sup>a</sup>	7.3 <sup>a</sup>	156.9 <sup>a</sup>	70.7 <sup>a</sup>	31.2 <sup>ab</sup>	257.1 <sup>a</sup>
	T	40.0 <sup>a</sup>	47.0 <sup>a</sup>	7.4 <sup>a</sup>	152.0 <sup>a</sup>	65.4 <sup>a</sup>	30.3 <sup>b</sup>	238.2 <sup>a</sup>
2023	Non-mulching	37.0 <sup>a</sup>	51.0 <sup>a</sup>	6.6 <sup>b</sup>	180.1 <sup>b</sup>	87.8 <sup>a</sup>	37.8 <sup>a</sup>	288.2 <sup>b</sup>
	PE	37.0 <sup>a</sup>	51.0 <sup>a</sup>	7.7 <sup>a</sup>	219.4 <sup>a</sup>	85.6 <sup>a</sup>	37.9 <sup>a</sup>	358.2 <sup>ab</sup>
	F	37.0 <sup>a</sup>	51.0 <sup>a</sup>	7.9 <sup>a</sup>	213.7 <sup>ab</sup>	90.0 <sup>a</sup>	38.4 <sup>a</sup>	370.6 <sup>a</sup>
	H	37.0 <sup>a</sup>	51.0 <sup>a</sup>	8.1 <sup>a</sup>	207.3 <sup>ab</sup>	88.9 <sup>a</sup>	38.5 <sup>a</sup>	334.0 <sup>ab</sup>
	E	37.0 <sup>a</sup>	51.0 <sup>a</sup>	7.9 <sup>a</sup>	201.6 <sup>ab</sup>	88.9 <sup>a</sup>	38.0 <sup>a</sup>	330.3 <sup>ab</sup>
	S	37.0 <sup>a</sup>	51.0 <sup>a</sup>	8.1 <sup>a</sup>	204.7 <sup>ab</sup>	88.9 <sup>a</sup>	38.1 <sup>a</sup>	350.7 <sup>ab</sup>
	T	37.0 <sup>a</sup>	51.0 <sup>a</sup>	8.1 <sup>a</sup>	197.1 <sup>ab</sup>	86.7 <sup>a</sup>	38.1 <sup>a</sup>	312.2 <sup>ab</sup>

\* PE, Polyethylene film; DAT, days after transplanting; F, H, V, S, and T, biodegradable films.

\*\* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.

들면서 콩 하엽에서 낙엽이 전개되었기 때문으로 사료된다.

2023년에 콩 재배 시 사용한 생분해성 멀칭필름 종류별 콩잎의 엽록소 함량을 이식 후 28일, 42일, 56일, 70일, 84일 및 98일에 조사하였다(Table 3). 엽록소 함량은 필름의 종류에 상관없이 유의적인 차이가 없었다. 종합적으로 2022년과 2023년 시험 결과로 볼 때 본 연구에 사용한 생분해성 필름은 작물생육 및 엽록소 함량에 부정적인 영향이 없는 것으로 판단된다.

생분해성 멀칭필름 종류별 콩 수확기에 수량구성요소 개화기, 결협기, 주당 분지수, 주당협수, 주당 종자중, 백립중 및 수량은 시험기간(2022, 2023년)에 상관없이 생분해성 멀칭필름과 PE필름 간에 유의적인 차이가 없었다(Table 4). 따라서 본 연구에 사용된 최근 개발된 생분해성 멀칭필름은 콩의 생육뿐만 아니라 수량에도 부정적인 영향을 미치지 않은 것으로 판단되었다. 본 연구와 유사하게 생분해성 멀칭필름을 사용하여 마늘, 옥수수, 토마토, 감자. 상추, 목화 및 딸기를 멀칭 재배한 연구에서도 생분해성 멀칭필름과 일반적으로 농가에서 많이 사용된 PE필름 간에 생육 및 수량에 차이가 없었다(Gao *et al.*, 2021; Lee *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2022; Ngouajio *et al.*, 2008; Souza *et al.*, 2020).

#### 콩 재배지 생분해성 멀칭필름 종류별 투광율 및 분해율

2022년 생분해성 멀칭필름 종류별 콩 이식 후 투광율을 조사한 결과 V필름은 사용 전에도 다른 생분해성 멀칭필름에 비해 유의적으로 높았다(Table 5). 이러한 이유는 제조과정과 필름의 주요 성분이 다른 생분해성 멀칭필름과 다르기 때문으로 판단되며 V필름은 콩 이식 후 14일에 투광율이 18% 이었지만 이식 후 112일에도 동일한 투광율을 보여 재배기간이 경과함에 따라 증가하지 않았다. 이식 후 98일에 단지 T필름의 투광율만 PE필름에 비해 유의적으로 높았으나, 콩 재배기간 동안 4% 이하의 투광율을 보였다.

2023년 생분해성 멀칭필름 종류별 투광율을 조사한 결과 필름 사용 전 F와 T필름의 투광율이 PE필름에 비해 유의적으로 높았다. 생분해성 멀칭필름 H와 T필름의 투광율은 콩 이식 후 14일부터 112일까지 전 조사기간 동안 PE필름에 비해 유의적으로 높았으나, E와 S필름의 투광율은 단지 이식 후 98일과 112일에만 PE필름에 비해 유의적으로 높았다. 2022년보다는 2023년에 생분해성 멀칭필름에서 투광율이 높았고, PE필름은 이식 후 112일에 0.3% 투광율을 보였고, 생분해성 멀칭필름은 6.4~15.8% 투광율을 보였다. 이처럼 2023년에 생분해성 멀칭필름 종류별 콩 이식 후 투광율은 2022년에 비해 높았던 이유는 상이한 기상과 토양

**Table 5.** Changes in the light transmittance (%) of various biodegradable and PE films in soybean cultivation in 2022 and 2023.

Year	Treatment	During cultivation									After harvest
		0 DAT	14 DAT	28 DAT	42 DAT	56 DAT	70 DAT	84 DAT	98 DAT	112 DAT	11 DAH
2022	PE	0.5 <sup>b</sup>	0.3 <sup>b</sup>	0.3 <sup>b</sup>	0.3 <sup>b</sup>	0.2 <sup>b</sup>	0.2 <sup>b</sup>	0.2 <sup>b</sup>	0.2 <sup>c</sup>	0.2 <sup>c</sup>	0.2 <sup>c</sup>
	F	0.3 <sup>b</sup>	0.6 <sup>b</sup>	0.7 <sup>b</sup>	0.7 <sup>b</sup>	0.5 <sup>b</sup>	1.7 <sup>b</sup>	1.8 <sup>b</sup>	1.9 <sup>bc</sup>	1.9 <sup>bc</sup>	1.8 <sup>bc</sup>
	H	0.9 <sup>b</sup>	3.6 <sup>b</sup>	0.8 <sup>b</sup>	1.0 <sup>b</sup>	1.1 <sup>b</sup>	1.0 <sup>b</sup>	1.0 <sup>b</sup>	1.0 <sup>bc</sup>	1.0 <sup>bc</sup>	2.0 <sup>bc</sup>
	V	7.9 <sup>a</sup>	17.8 <sup>a</sup>	15.8 <sup>a</sup>	17.5 <sup>a</sup>	17.5 <sup>a</sup>	18.0 <sup>a</sup>	17.7 <sup>a</sup>	17.6 <sup>a</sup>	17.6 <sup>a</sup>	18.1 <sup>a</sup>
	S	1.2 <sup>b</sup>	1.2 <sup>b</sup>	1.6 <sup>b</sup>	1.6 <sup>b</sup>	1.8 <sup>b</sup>	1.8 <sup>b</sup>	2.7 <sup>b</sup>	2.7 <sup>bc</sup>	2.7 <sup>bc</sup>	2.6 <sup>bc</sup>
	T	0.4 <sup>b</sup>	1.7 <sup>b</sup>	3.6 <sup>b</sup>	3.6 <sup>b</sup>	3.9 <sup>b</sup>	4.4 <sup>b</sup>	4.2 <sup>b</sup>	4.2 <sup>b</sup>	4.3 <sup>bc</sup>	4.2 <sup>b</sup>
2023	PE	0.2 <sup>c</sup>	0.2 <sup>c</sup>	0.2 <sup>b</sup>	0.2 <sup>b</sup>	0.3 <sup>c</sup>	0.3 <sup>c</sup>	0.3 <sup>c</sup>	0.3 <sup>c</sup>	0.3 <sup>c</sup>	-
	F	1.4 <sup>b</sup>	1.7 <sup>bc</sup>	1.8 <sup>ab</sup>	2.2 <sup>b</sup>	5.3 <sup>bc</sup>	5.4 <sup>bc</sup>	6.9 <sup>b</sup>	6.7 <sup>b</sup>	6.4 <sup>b</sup>	-
	H	0.8 <sup>bc</sup>	8.7 <sup>a</sup>	11.9 <sup>a</sup>	13.2 <sup>a</sup>	13.8 <sup>a</sup>	15.4 <sup>a</sup>	15.7 <sup>a</sup>	15.2 <sup>a</sup>	15.8 <sup>a</sup>	-
	E	0.8 <sup>bc</sup>	0.7 <sup>c</sup>	0.6 <sup>ab</sup>	0.7 <sup>b</sup>	0.8 <sup>bc</sup>	3.7 <sup>c</sup>	4.5 <sup>bc</sup>	6.2 <sup>b</sup>	7.6 <sup>b</sup>	-
	S	0.5 <sup>c</sup>	0.7 <sup>c</sup>	1.5 <sup>ab</sup>	2.2 <sup>b</sup>	4.4 <sup>bc</sup>	5.1 <sup>bc</sup>	6.8 <sup>b</sup>	7.0 <sup>b</sup>	7.0 <sup>b</sup>	-
	T	6.3 <sup>a</sup>	6.2 <sup>ab</sup>	7.2 <sup>ab</sup>	7.1 <sup>ab</sup>	8.8 <sup>ab</sup>	12.0 <sup>ab</sup>	12.9 <sup>a</sup>	14.3 <sup>a</sup>	14.8 <sup>a</sup>	-

\* DAT, days after transplanting; DAH, days after harvest; PE, Polyethylene film; F, H, V, E, S, and T biodegradable films.  
 \*\* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.

환경 등에 의하여 필름분해도 증가에 기인한 결과로 판단된다. 본 연구와 유사한 상추 재배지에 생분해성 멀칭필름을 사용하여 필름의 투광률을 측정된 연구에서 사용 전 생분해성 멀칭필름의 투광률이 4.3%이었으나, 사용 후 42일에는 9.4%로 사용 전에 비해 5.1% 증가하였다. 이러한 투광율의 증가는 생분해성 멀칭필름이 분해가 진행되면서 필름의 균열이 늘어나 투광률이 늘어나게 되는 것으로 판단하였다(Brault *et al.*, 2002).

콩재배지의 생분해성 멀칭필름 종류별 봉괴정도를 0~5 단계로 달관평가를 조사하였다(Yin *et al.*, 2019). 2022년 생분해성 멀칭필름의 봉괴정도는 이식 후 시간이 경과할수록 증가하였다(Table 6). 모든 생분해성 멀칭필름의 봉괴정도는 이식 후 40일부터 110일까지 PE필름에 비해 유의적으로 높았다. 특히 생분해성 멀칭필름 중 H와 T필름에서 봉괴 정도가 높았다. 콩을 수확한 후 포장에 잔재하는 필름은 수확 후 10일, 20일, 30일, 40일 및 50일 경과함에 따라 분해 정도가 증가하였고, 대부분 생분해성 멀칭필름이 잘게 파편으로 되었다.

2023년 생분해성 멀칭필름의 봉괴정도는 2022년 보다 다소 빠르게 이식 후 20일부터 시작되었고, 시간이 경과할수록 증가하였다. 또한 생분해성 멀칭필름은 이식 후 20일부터 110일까지 PE필름에 비해 유의적으로 높았다. 이식

후 110일에 봉괴 정도는 생분해성 멀칭필름 종류 간에 유의적인 차이가 없었다.

2022년 필름의 무게 감소에 의한 분해율의 경우 생분해성 멀칭필름은 이식 후 시간이 경과할수록 증가하였다(Table 7). 생분해성 멀칭필름 중 F와 V필름의 분해율은 이식 후 14일부터 112일까지 PE필름에 비해 유의적으로 높았다. 그러나 H와 S필름의 경우는 이식 후 70일부터 112일까지 PE필름에 비해 유의적으로 높았다. 이식 후 112일에 분해율은 V (26.7%)>F (19.1%)>T (14.0%)>H (10.0%)=S (9.8%)순으로 높았다.

2023년 필름의 무게 감소에 의한 분해율의 경우도 생분해성 멀칭필름은 이식 후 시간이 경과할수록 증가하였다. 생분해성 멀칭필름은 일반적으로 이식 후 70일부터 112일까지 PE필름에 비해 유의적으로 높았다. 또한 이식 후 112일에 생분해성 멀칭필름의 분해율은 T (36.0%)=H (33.4%)>S (23.7%)=F (19.5%)>E (13.0%) 순으로 2022년과 필름 종류별로 분해율 순위에서 다른 결과를 보였고, 일반적으로 분해율도 높은 편이었다. 즉 이식 후 112일에 생분해성 멀칭필름의 분해율의 경우 2022년에는 9.8~26.7%이었고, 2023년에는 13~36%를 보였다. 필름 무게 감소에 의한 분해율은 달관평가에 의한 봉괴정도와 상이하었는데 이러한 결과는 분해율 산출 시 파편화된 필름을 고려하지 않고 잔재한

**Table 6.** Changes in visual collapse levels (0-5) of various biodegradable and PE films in soybean cultivation in 2022 and 2023.

Year	Treatment	During cultivation												After harvest				
		0 DAT	10 DAT	20 DAT	30 DAT	40 DAT	50 DAT	60 DAT	70 DAT	80 DAT	90 DAT	100 DAT	110 DAT	5 DAH	15 DAH	25 DAH	35 DAH	45 DAH
2022	PE	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.3 <sup>b</sup>	0.3 <sup>c</sup>	0.7 <sup>c</sup>	0.7 <sup>d</sup>	0.7 <sup>c</sup>	1.0 <sup>c</sup>	1.0 <sup>c</sup>	1.0 <sup>c</sup>	1.0 <sup>e</sup>	1.0 <sup>d</sup>	1.0 <sup>d</sup>	1.3 <sup>c</sup>
	F	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.3 <sup>ab</sup>	0.7 <sup>a</sup>	1.3 <sup>a</sup>	2.0 <sup>ab</sup>	2.0 <sup>b</sup>	2.0 <sup>bc</sup>	2.0 <sup>b</sup>	2.0 <sup>b</sup>	2.0 <sup>b</sup>	2.7 <sup>b</sup>	3.0 <sup>cd</sup>	3.0 <sup>c</sup>	3.7 <sup>bc</sup>	4.3 <sup>a</sup>
	H	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	1.0 <sup>a</sup>	1.0 <sup>a</sup>	1.7 <sup>a</sup>	2.3 <sup>a</sup>	3.0 <sup>a</sup>	3.7 <sup>a</sup>	4.0 <sup>a</sup>	4.0 <sup>a</sup>	4.0 <sup>a</sup>	4.0 <sup>a</sup>	4.7 <sup>a</sup>	5.0 <sup>a</sup>	5.0 <sup>a</sup>	5.0 <sup>a</sup>
	V	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.7 <sup>ab</sup>	1.0 <sup>a</sup>	1.7 <sup>a</sup>	1.7 <sup>ab</sup>	2.0 <sup>b</sup>	2.0 <sup>bc</sup>	2.0 <sup>b</sup>	2.0 <sup>b</sup>	2.3 <sup>b</sup>	2.3 <sup>b</sup>	2.3 <sup>d</sup>	3.0 <sup>c</sup>	3.0 <sup>c</sup>	3.0 <sup>b</sup>
	S	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.3 <sup>ab</sup>	0.7 <sup>a</sup>	1.0 <sup>ab</sup>	1.3 <sup>ab</sup>	1.3 <sup>bc</sup>	1.3 <sup>cd</sup>	1.3 <sup>bc</sup>	1.7 <sup>b</sup>	2.0 <sup>b</sup>	2.7 <sup>b</sup>	3.3 <sup>bc</sup>	4.0 <sup>b</sup>	4.3 <sup>ab</sup>	4.3 <sup>a</sup>
	T	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	1.0 <sup>a</sup>	1.0 <sup>a</sup>	1.7 <sup>a</sup>	1.7 <sup>ab</sup>	1.7 <sup>b</sup>	2.7 <sup>b</sup>	3.7 <sup>a</sup>	4.0 <sup>a</sup>	4.0 <sup>a</sup>	4.0 <sup>a</sup>	4.0 <sup>ab</sup>	4.3 <sup>b</sup>	4.3 <sup>ab</sup>	4.7 <sup>a</sup>
2023	PE	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>c</sup>	0.3 <sup>b</sup>	0.3 <sup>b</sup>	0.3 <sup>b</sup>	0.3 <sup>b</sup>	0.7 <sup>b</sup>	0.3 <sup>b</sup>	-	-	-	-	-	
	F	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	1.0 <sup>a</sup>	1.0 <sup>a</sup>	1.7 <sup>a</sup>	2.0 <sup>b</sup>	2.7 <sup>a</sup>	2.7 <sup>a</sup>	3.3 <sup>a</sup>	3.3 <sup>a</sup>	3.3 <sup>a</sup>	3.7 <sup>a</sup>	-	-	-	-	
	H	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	1.0 <sup>a</sup>	1.0 <sup>a</sup>	2.0 <sup>a</sup>	2.3 <sup>ab</sup>	3.0 <sup>a</sup>	3.3 <sup>a</sup>	3.3 <sup>a</sup>	3.7 <sup>a</sup>	3.7 <sup>a</sup>	4.0 <sup>a</sup>	-	-	-	-	
	E	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.7 <sup>a</sup>	1.0 <sup>a</sup>	1.3 <sup>a</sup>	2.0 <sup>b</sup>	2.3 <sup>a</sup>	2.3 <sup>a</sup>	2.7 <sup>a</sup>	3.0 <sup>a</sup>	3.0 <sup>a</sup>	3.3 <sup>a</sup>	-	-	-	-	
	S	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	1.0 <sup>a</sup>	1.0 <sup>a</sup>	1.7 <sup>a</sup>	2.0 <sup>b</sup>	2.3 <sup>a</sup>	2.7 <sup>a</sup>	3.3 <sup>a</sup>	3.3 <sup>a</sup>	3.3 <sup>a</sup>	3.7 <sup>a</sup>	-	-	-	-	
	T	0.0 <sup>a</sup>	0.3 <sup>a</sup>	1.0 <sup>a</sup>	1.0 <sup>a</sup>	2.0 <sup>a</sup>	2.7 <sup>a</sup>	3.0 <sup>a</sup>	3.3 <sup>a</sup>	3.7 <sup>a</sup>	3.7 <sup>a</sup>	3.7 <sup>a</sup>	4.3 <sup>a</sup>	-	-	-	-	

\* DAT, days after transplanting; DAH, days after harvest; PE, Polyethylene film; F, H, V, E, S, and T biodegradable films.  
 \*\* 0 represents the film practically intact; 5 represents the film breaking down into fragments that were smaller than 4×4 cm<sup>2</sup>.  
 \*\*\* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.

**Table 7.** Changes in decomposition (%) of various biodegradable and PE films in soybean cultivation in 2022 and 2023.

Year	Treatment	0 DAT	14 DAT	28 DAT	42 DAT	56 DAT	70 DAT	84 DAT	98 DAT	112 DAT
2022	PE	0.0 <sup>a</sup>	0.2 <sup>c</sup>	0.2 <sup>b</sup>	0.6 <sup>b</sup>	0.2 <sup>c</sup>	0.4 <sup>c</sup>	0.8 <sup>d</sup>	0.2 <sup>d</sup>	0.2 <sup>d</sup>
	F	0.0 <sup>a</sup>	10.2 <sup>ab</sup>	15.1 <sup>a</sup>	15.6 <sup>a</sup>	15.9 <sup>ab</sup>	17.4 <sup>a</sup>	17.4 <sup>ab</sup>	17.9 <sup>b</sup>	19.1 <sup>b</sup>
	H	0.0 <sup>a</sup>	5.6 <sup>bc</sup>	4.2 <sup>b</sup>	5.2 <sup>ab</sup>	8.2 <sup>bc</sup>	8.8 <sup>b</sup>	8.6 <sup>c</sup>	9.6 <sup>c</sup>	10.0 <sup>c</sup>
	V	0.0 <sup>a</sup>	12.4 <sup>a</sup>	15.8 <sup>a</sup>	16.1 <sup>a</sup>	21.0 <sup>a</sup>	21.0 <sup>a</sup>	22.3 <sup>a</sup>	24.0 <sup>a</sup>	26.7 <sup>a</sup>
	S	0.0 <sup>a</sup>	2.1 <sup>c</sup>	2.7 <sup>b</sup>	2.1 <sup>b</sup>	3.1 <sup>c</sup>	8.4 <sup>b</sup>	8.5 <sup>c</sup>	9.2 <sup>c</sup>	9.8 <sup>c</sup>
	T	0.0 <sup>a</sup>	1.4 <sup>c</sup>	3.7 <sup>b</sup>	2.8 <sup>b</sup>	4.9 <sup>c</sup>	6.0 <sup>bc</sup>	12.6 <sup>bc</sup>	13.67 <sup>bc</sup>	14.0 <sup>c</sup>
2023	PE	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	-0.2 <sup>a</sup>	2.3 <sup>a</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>c</sup>	1.9 <sup>c</sup>	3.1 <sup>c</sup>
	F	0.0 <sup>a</sup>	2.0 <sup>a</sup>	3.7 <sup>a</sup>	4.8 <sup>a</sup>	7.4 <sup>a</sup>	8.0 <sup>ab</sup>	9.4 <sup>b</sup>	8.7 <sup>bc</sup>	19.5 <sup>ab</sup>
	H	0.0 <sup>a</sup>	1.3 <sup>a</sup>	0.2 <sup>a</sup>	3.3 <sup>a</sup>	12.5 <sup>a</sup>	13.7 <sup>a</sup>	14.1 <sup>ab</sup>	17.7 <sup>ab</sup>	33.4 <sup>a</sup>
	E	0.0 <sup>a</sup>	-0.3 <sup>a</sup>	0.4 <sup>a</sup>	0.1 <sup>a</sup>	5.7 <sup>a</sup>	6.6 <sup>ab</sup>	7.6 <sup>bc</sup>	8.6 <sup>bc</sup>	13.0 <sup>bc</sup>
	S	0.0 <sup>a</sup>	0.6 <sup>a</sup>	0.4 <sup>a</sup>	6.2 <sup>a</sup>	11.7 <sup>a</sup>	10.4 <sup>ab</sup>	13.0 <sup>ab</sup>	12.8 <sup>a-c</sup>	23.7 <sup>ab</sup>
	T	0.0 <sup>a</sup>	0.4 <sup>a</sup>	0.4 <sup>a</sup>	1.0 <sup>a</sup>	9.2 <sup>a</sup>	16.4 <sup>a</sup>	20.3 <sup>a</sup>	24.0 <sup>a</sup>	36.0 <sup>a</sup>

\* DAT, days after transplanting; PE, Polyethylene film; F, H, E, S, and T biodegradable films.  
 \*\* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.

필름 중에 일정한 면적의 무게 감소로 산출하기 때문에 분해율이 적게 나타나는 것으로 판단된다. 작물재배시 필름의 분해율이 너무 빠른 경우 잡초발생 및 보온과 보습효과가 사라지기 때문에 적절한 분해율을 보이는 것이 좋은 필름으로 판단되었다. 한 예로 생분해성 플라스틱과 전분의 비율을 다르게 한 생분해성 멀칭필름을 사용하여 옥수수 재배를 재

배했을 때 파종 후 60일 정도에 분해가 시작되는 필름이 가장 적절한 생분해성 필름으로 판단하였다(Yin *et al.*, 2019). 본 연구에서 생분해성 멀칭필름의 분해율은 연차 간 차이 뿐만 아니라 조사방법 및 필름의 주성분에 의해서 차이를 보였다. 본 연구와 유사한 생분해성 멀칭필름의 분해 실험에서 실험기간 동안 생분해성 멀칭필름의 분해율은 기온,

토양수분 및 미생물 등의 다양한 요인에 의해 영향을 받는다고 하였다(Costa *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2022). 또한 필름이 주성분인 PLA와 PBAT를 혼합한 필름과 PBAT 단독으로 제조한 필름을 흙에 묻었을 때 PBAT필름은 165일에 완전히 분해되었지만, PLA/PBAT필름은 PBAT필름보다 분해속도가 늦어져서 필름의 주성분에 따라 분해율에 차이를 보였다(Liu *et al.*, 2022).

### 콩 재배지 생분해성 멀칭필름 종류별 토양 환경에 미치는 영향

생분해성 멀칭필름 종류별 토양 화학성을 알아보기 위해 콩 이식 전과 이식 후 14일 간격으로 이식 후 112일까지 그리고 콩 수확 후 14, 28, 42 및 56일에 pH와 EC를 측정하였다(Tables 8, 9). 2022년 토양 pH는 이식 후 70일에는 모든 생분해성 멀칭필름에서 PE 필름에 비해 유의적으로 높았고, 이식 후 84일에는 생분해성 멀칭필름 F, H 및 V 필름에서 PE 필름에 비해 유의적으로 높았다. 그러나 수확기에 해당되는 이식 후 112일에 토양 pH는 생분해성 멀칭필름과 PE 필름 간에 유의적인 차이가 없었다. 따라서 이식 후 조사시기에 따라 생분해성 멀칭필름과 PE 필름 간에 다소 차이를 보였으나 전반적으로 볼 때에 큰 차이가 없는 것으로 판단된다. 그러나 콩을 수확 후 14일, 28일, 42일 및 56일에 조사한 토양 pH의 경우는 F, H 및 V 생분해성 필름이 PE 필름에 비해 유의적으로 높았다. 이처럼 생분해성 멀칭필름과 PE 필름 간에 pH가 차이를 보인 것은 PE 필름의 경우는 분해가 되지 않아 수확 후 멀칭 상태로 남아 있고, 생분해성 멀칭필름의 경우는 분해 및 파편이 되어 강우 등으로 인하여 용탈 등과 필름이 토양에서 분해되는 과정에서 영향을 미친 것으로 사료되었다.

2023년 연구에서도 토양 pH는 이식 후 14일에는 F, H, E 필름에서, 이식 후 28일에는 F, H, E, S 및 T 필름에서, 이식 후 42일에는 H, E 및 T 필름에서, 이식 후 70일에는 모든 생분해성 멀칭필름에서 PE 필름에 유의적으로 높았다. 그러나 수확기인 이식 후 112일에는 생분해성 멀칭필름과 PE 필름 간에 유의적인 차이가 없었다. 따라서 2022년과 2023년 연구에서 특정 조사시기에서 필름 간에 pH에 차이를 보였으나 전반적으로 볼 때 필름 간에 차이가 없는 것으로 판단되었다. 다만, 콩 수확 후 토양 pH는 F, H 및 V 생분해성 필름이 PE 필름에 비해 유의적으로 높았다.

2022년 토양 EC는 콩 이식 전과 이식 후 14일에서 112일까지 조사한 결과 일부 조사시기에 생분해성 멀칭필름이 PE 필름에 비해 높거나 낮아 전반적으로 일정한 경향을 보이지 않았다. 또한 콩 수확 후 시간이 경과할수록 EC는 필

름 종류에 상관없이 감소하였는데, 이는 콩 수확 후 환경 조건이 변했을 뿐만 아니라 수확 시 필름이 파편이 되어 강우에 의한 용탈이 용이했을 것으로 판단된다.

2023년 토양 EC의 경우도 이식 후 70일과 84일에 모든 생분해성 멀칭필름에서 PE 필름에 비해 낮았으나, 전반적으로 볼 때 생분해성 멀칭필름과 PE 필름 간에 유의적인 차이가 없었다. 따라서 2022년과 2023년의 연구 결과를 종합적으로 볼 때 pH와 EC의 경우는 생분해성 멀칭필름과 PE 필름 간에 차이가 없었다. 본 연구에서 사용한 동일한 생분해성 멀칭필름을 사용한 양과재배지에서 pH와 EC를 측정하고 결과 생분해성 멀칭필름과 PE 필름 간에 차이가 없었다(Jung *et al.*, 2023). 호박 재배지에서 생분해성 멀칭필름을 사용하였을 때 토양의 pH와 EC 변화를 측정하였을 때 생분해성 멀칭필름과 PE 필름 간의 유의적인 차이는 없었다(Sintim *et al.*, 2021). 또한 필름을 갈아 토양에 섞어 보리를 재배한 연구에서도 토양 pH와 EC는 생분해성 멀칭필름과 PE 필름 간의 유의적인 차이가 없었다(Reay *et al.*, 2023). 따라서 최근에 개발된 생분해성 멀칭필름의 경우도 콩재배지에서 pH와 EC에 영향을 미치지 않은 것으로 판단되었다.

2022년과 2023년에 수확기 무렵 이식 후 101일에 조사한 유기물 함량은 조사 연도에 상관없이 생분해성 멀칭필름과 PE 필름 간에 유의적인 차이가 없었다(Fig. 1). 다만, 2022년 연구에서 무멀칭의 경우 유기물 함량이 필름 멀칭에 비해 유의적으로 낮았는데 무멀칭의 경우는 광과 같은 요인에 의해 유기물 분해가 빨리 진행된 것으로 사료되었다. 감자 재배지에서 토양 유기물 함량은 생분해성 멀칭필름(14.70 g/kg)을 사용한 토양이 PE 필름(12.85 g/kg)을 사용한 토양보다 유의적으로 높았다(Gao *et al.*, 2021). 그러나 호박재배지에서 4년간 연속으로 생분해성 멀칭필름을 사용하였을 때 토양 유기물 함량은 PE 필름과 차이가 없었다(Sintim *et al.*, 2021). 또한 본 연구와 동일한 생분해성 멀칭필름을 양과재배지에 사용했을 때도 토양 유기물 함량은 PE 필름과 유의적인 차이가 없었다(Jung *et al.* 2023).

2023년 토양에 질산태질소, 유효인산 및 치환성양이온을 측정하고 결과 질산태질소와 Ca, Mg 및 K과 같은 치환성양이온 함량은 필름 종류에 상관없이 유의적인 차이를 보이지 않았다(Table 10). 그러나 유효인산 함량은 E, S 및 T 필름이 PE 필름에 비해 유의적으로 높았다. 유사한 연구에서 생분해성 멀칭필름과 PE 필름을 사용하여 마늘과 옥수수를 2년 연작한 재배지의 토양의 유효인산은 생분해 멀칭필름(25~40 mg/kg)이, PE 필름(20~25 mg/kg)보다 유의적으로 높았다(Zhang *et al.*, 2022). 생분해성 멀칭필름을 사용한 호박재배지에서 Ca, Mg과 같은 치환성양이온 함량은 생분



**Table 8.** Soil pH at various plant stages as affected by biodegradable and PE films in soybean fields in 2022 and 2023.

Year	Treatment	During cultivation									After harvest			
		0 DAT	14 DAT	28 DAT	42 DAT	56 DAT	70 DAT	84 DAT	98 DAT	112 DAT	11 DAH	25 DAH	39 DAH	53 DAH
2022	Non-mulching	5.7 <sup>a</sup>	6.0 <sup>a</sup>	5.7 <sup>ab</sup>	5.7 <sup>a</sup>	5.6 <sup>a</sup>	5.5 <sup>b</sup>	5.4 <sup>c</sup>	5.3 <sup>c</sup>	5.5 <sup>b</sup>	5.7 <sup>bc</sup>	5.9 <sup>ab</sup>	5.8 <sup>ab</sup>	5.8 <sup>ab</sup>
	PE	5.8 <sup>a</sup>	5.6 <sup>a</sup>	5.7 <sup>ab</sup>	5.9 <sup>a</sup>	5.8 <sup>a</sup>	5.4 <sup>b</sup>	5.6 <sup>bc</sup>	5.6 <sup>a-c</sup>	5.6 <sup>b</sup>	5.7 <sup>c</sup>	5.6 <sup>b</sup>	5.7 <sup>b</sup>	5.5 <sup>b</sup>
	F	6.0 <sup>a</sup>	5.7 <sup>a</sup>	5.5 <sup>b</sup>	5.8 <sup>a</sup>	5.8 <sup>a</sup>	6.2 <sup>a</sup>	6.0 <sup>a</sup>	5.9 <sup>a</sup>	5.9 <sup>ab</sup>	6.0 <sup>a</sup>	6.0 <sup>a</sup>	6.0 <sup>a</sup>	5.9 <sup>a</sup>
	H	5.9 <sup>a</sup>	5.7 <sup>a</sup>	5.9 <sup>a</sup>	6.1 <sup>a</sup>	6.0 <sup>a</sup>	6.1 <sup>a</sup>	6.0 <sup>a</sup>	5.9 <sup>a</sup>	5.9 <sup>ab</sup>	6.0 <sup>a</sup>	6.0 <sup>a</sup>	6.1 <sup>a</sup>	6.0 <sup>a</sup>
	V	6.0 <sup>a</sup>	5.9 <sup>a</sup>	5.5 <sup>b</sup>	6.1 <sup>a</sup>	5.7 <sup>a</sup>	6.0 <sup>a</sup>	6.0 <sup>a</sup>	5.9 <sup>a</sup>	6.0 <sup>a</sup>	5.9 <sup>ab</sup>	5.9 <sup>ab</sup>	6.1 <sup>a</sup>	6.0 <sup>a</sup>
	S	6.0 <sup>a</sup>	5.8 <sup>a</sup>	5.5 <sup>b</sup>	5.9 <sup>a</sup>	5.6 <sup>a</sup>	5.8 <sup>a</sup>	5.7 <sup>b</sup>	5.5 <sup>bc</sup>	5.5 <sup>b</sup>	5.7 <sup>c</sup>	6.0 <sup>a</sup>	6.0 <sup>a</sup>	5.6 <sup>b</sup>
	T	5.7 <sup>a</sup>	5.7 <sup>a</sup>	5.5 <sup>b</sup>	6.0 <sup>a</sup>	5.7 <sup>a</sup>	5.9 <sup>a</sup>	5.8 <sup>ab</sup>	5.7 <sup>ab</sup>	5.8 <sup>ab</sup>	5.7 <sup>bc</sup>	5.8 <sup>ab</sup>	5.9 <sup>a</sup>	5.8 <sup>ab</sup>
2023	Non-mulching	6.0 <sup>a</sup>	6.2 <sup>ab</sup>	6.4 <sup>a</sup>	6.2 <sup>ab</sup>	5.6 <sup>b</sup>	5.3 <sup>bc</sup>	5.4 <sup>c</sup>	5.5 <sup>b</sup>	5.3 <sup>b</sup>	-	-	-	-
	PE	6.0 <sup>a</sup>	5.9 <sup>b</sup>	5.8 <sup>b</sup>	6.0 <sup>b</sup>	5.9 <sup>a</sup>	5.2 <sup>c</sup>	5.5 <sup>bc</sup>	5.4 <sup>b</sup>	5.5 <sup>ab</sup>	-	-	-	-
	F	6.0 <sup>a</sup>	6.5 <sup>a</sup>	6.7 <sup>a</sup>	6.2 <sup>ab</sup>	5.6 <sup>b</sup>	5.8 <sup>a</sup>	5.8 <sup>ab</sup>	5.7 <sup>ab</sup>	5.7 <sup>a</sup>	-	-	-	-
	H	5.9 <sup>a</sup>	6.5 <sup>a</sup>	6.6 <sup>a</sup>	6.3 <sup>a</sup>	5.6 <sup>b</sup>	5.7 <sup>a</sup>	5.5 <sup>bc</sup>	5.6 <sup>ab</sup>	5.6 <sup>a</sup>	-	-	-	-
	E	5.9 <sup>a</sup>	6.4 <sup>a</sup>	6.6 <sup>a</sup>	6.4 <sup>a</sup>	5.9 <sup>a</sup>	5.6 <sup>ab</sup>	5.6 <sup>a-c</sup>	5.7 <sup>ab</sup>	5.6 <sup>a</sup>	-	-	-	-
	S	5.9 <sup>a</sup>	6.2 <sup>ab</sup>	6.3 <sup>a</sup>	6.2 <sup>ab</sup>	5.7 <sup>b</sup>	5.7 <sup>a</sup>	5.9 <sup>a</sup>	5.8 <sup>a</sup>	5.7 <sup>a</sup>	-	-	-	-
	T	6.0 <sup>a</sup>	6.4 <sup>a</sup>	6.5 <sup>a</sup>	6.3 <sup>a</sup>	5.7 <sup>ab</sup>	5.6 <sup>ab</sup>	5.6 <sup>a-c</sup>	5.7 <sup>ab</sup>	5.7 <sup>a</sup>	-	-	-	-

\* DAT, days after transplanting; DAH, days after harvest; PE, Polyethylene film; F, H, E, S, and T biodegradable films.

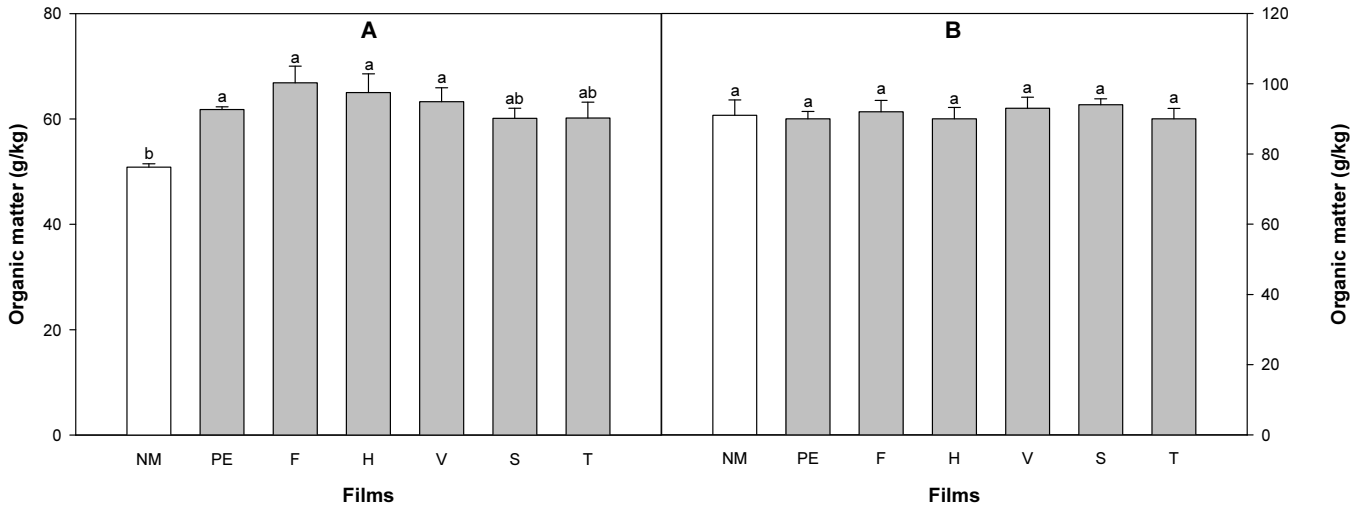
\*\* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.

**Table 9.** Soil EC (dS/m) at various plant stages as affected by biodegradable and PE films in soybean fields in 2022 and 2023.

Year	Treatment	During cultivation									After harvest
		0 DAT	14 DAT	28 DAT	42 DAT	56 DAT	70 DAT	84 DAT	98 DAT	112 DAT	11 DAH
2022	PE	0.5 <sup>b</sup>	0.3 <sup>b</sup>	0.3 <sup>b</sup>	0.3 <sup>b</sup>	0.2 <sup>b</sup>	0.2 <sup>b</sup>	0.2 <sup>b</sup>	0.2 <sup>c</sup>	0.2 <sup>c</sup>	0.2 <sup>c</sup>
	F	0.3 <sup>b</sup>	0.6 <sup>b</sup>	0.7 <sup>b</sup>	0.7 <sup>b</sup>	0.5 <sup>b</sup>	1.7 <sup>b</sup>	1.8 <sup>b</sup>	1.9 <sup>bc</sup>	1.9 <sup>bc</sup>	1.8 <sup>bc</sup>
	H	0.9 <sup>b</sup>	3.6 <sup>b</sup>	0.8 <sup>b</sup>	1.0 <sup>b</sup>	1.1 <sup>b</sup>	1.0 <sup>b</sup>	1.0 <sup>b</sup>	1.0 <sup>bc</sup>	1.0 <sup>bc</sup>	2.0 <sup>bc</sup>
	V	7.9 <sup>a</sup>	17.8 <sup>a</sup>	15.8 <sup>a</sup>	17.5 <sup>a</sup>	17.5 <sup>a</sup>	18.0 <sup>a</sup>	17.7 <sup>a</sup>	17.6 <sup>a</sup>	17.6 <sup>a</sup>	18.1 <sup>a</sup>
	S	1.2 <sup>b</sup>	1.2 <sup>b</sup>	1.6 <sup>b</sup>	1.6 <sup>b</sup>	1.8 <sup>b</sup>	1.8 <sup>b</sup>	2.7 <sup>b</sup>	2.7 <sup>bc</sup>	2.7 <sup>bc</sup>	2.6 <sup>bc</sup>
	T	0.4 <sup>b</sup>	1.7 <sup>b</sup>	3.6 <sup>b</sup>	3.6 <sup>b</sup>	3.9 <sup>b</sup>	4.4 <sup>b</sup>	4.2 <sup>b</sup>	4.2 <sup>b</sup>	4.3 <sup>bc</sup>	4.2 <sup>b</sup>
2023	PE	0.2 <sup>c</sup>	0.2 <sup>c</sup>	0.2 <sup>b</sup>	0.2 <sup>b</sup>	0.3 <sup>c</sup>	0.3 <sup>c</sup>	0.3 <sup>c</sup>	0.3 <sup>c</sup>	0.3 <sup>c</sup>	-
	F	1.4 <sup>b</sup>	1.7 <sup>bc</sup>	1.8 <sup>ab</sup>	2.2 <sup>b</sup>	5.3 <sup>bc</sup>	5.4 <sup>bc</sup>	6.9 <sup>b</sup>	6.7 <sup>b</sup>	6.4 <sup>b</sup>	-
	H	0.8 <sup>bc</sup>	8.7 <sup>a</sup>	11.9 <sup>a</sup>	13.2 <sup>a</sup>	13.8 <sup>a</sup>	15.4 <sup>a</sup>	15.7 <sup>a</sup>	15.2 <sup>a</sup>	15.8 <sup>a</sup>	-
	E	0.8 <sup>bc</sup>	0.7 <sup>c</sup>	0.6 <sup>ab</sup>	0.7 <sup>b</sup>	0.8 <sup>bc</sup>	3.7 <sup>c</sup>	4.5 <sup>bc</sup>	6.2 <sup>b</sup>	7.6 <sup>b</sup>	-
	S	0.5 <sup>c</sup>	0.7 <sup>c</sup>	1.5 <sup>ab</sup>	2.2 <sup>b</sup>	4.4 <sup>bc</sup>	5.1 <sup>bc</sup>	6.8 <sup>b</sup>	7.0 <sup>b</sup>	7.0 <sup>b</sup>	-
	T	6.3 <sup>a</sup>	6.2 <sup>ab</sup>	7.2 <sup>ab</sup>	7.1 <sup>ab</sup>	8.8 <sup>ab</sup>	12.0 <sup>ab</sup>	12.9 <sup>a</sup>	14.3 <sup>a</sup>	14.8 <sup>a</sup>	-

\* DAT, days after transplanting; DAH, days after harvest; PE, polyethylene film; F, H, E, S and T biodegradable films.

\*\* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.



**Fig. 1.** Organic matter content at 101 days after transplanting as affected by biodegradable and PE films at soybean fields in 2022 (A) and 2023 (B).

\* NM, Non-mulching; PE, Polyethylene film; F, H, E, S, and T biodegradable films.

\*\* Means within bars followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan’s Multiple Range Test.

**Table 10.** Soil mineral nutrients at 101 days after transplanting as affected by biodegradable and PE films at soybean fields in 2023.

Treatment	Nitrate nitrogen (%)	Available phosphate (mg/kg)	Exchangeable cation (cmol+/kg)		
			Ca	Mg	K
Non-mulching	0.015 <sup>a</sup>	310.9 <sup>a</sup>	14.1 <sup>a</sup>	2.6 <sup>a</sup>	1.3 <sup>a</sup>
PE	0.009 <sup>a</sup>	126.1 <sup>c</sup>	13.1 <sup>a</sup>	2.5 <sup>a</sup>	1.1 <sup>a</sup>
F	0.010 <sup>a</sup>	146.0 <sup>bc</sup>	13.6 <sup>a</sup>	2.5 <sup>a</sup>	1.1 <sup>a</sup>
H	0.010 <sup>a</sup>	252.3 <sup>a-c</sup>	14.5 <sup>a</sup>	2.9 <sup>a</sup>	1.2 <sup>a</sup>
E	0.010 <sup>a</sup>	262.3 <sup>ab</sup>	14.7 <sup>a</sup>	2.9 <sup>a</sup>	1.4 <sup>a</sup>
S	0.009 <sup>a</sup>	279.0 <sup>a</sup>	13.6 <sup>a</sup>	2.7 <sup>a</sup>	1.3 <sup>a</sup>
T	0.012 <sup>a</sup>	328.2 <sup>a</sup>	15.3 <sup>a</sup>	2.7 <sup>a</sup>	1.3 <sup>a</sup>

\* PE, Polyethylene film; F, H, E, S, and T biodegradable films.

\*\* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan’s Multiple Range Test.

해성 멀칭필름과 PE 필름이 유의적인 차이가 없다는 결과와 본 연구의 결과가 유사하였다(Sintim *et al.*, 2021).

콩 재배지에 생분해성 멀칭필름을 사용한 토양 물리성을 알아보기 위해 토성, 용적밀도, 공극률 및 삼상을 조사하였다(Fig. 2, Table 11). 토성의 비율은 모래, 미사 및 점토가 각각 38%, 42% 및 22%로 모든 처리에서 미사질 양토로 필름 종류 간 차이가 없었다. 또한 용적밀도, 공극률 및 삼상(고상, 액상 및 기상)도 생분해성 멀칭필름과 PE 필름 간의 유의적인 차이가 없었다. 생분해성 멀칭필름으로 인하여 분해가 증가하고, 미생물 개체수 및 토양의 물리성이 개선되는 것으로 보고되었으나(Gao *et al.*, 2021; Somanathan

*et al.*, 2022), 본 연구에서는 토성, 용적밀도, 공극률 및 삼상 등이 생분해성 필름과 PE 필름 간에 차이가 관찰되지 않았다. 또한 본 연구와 유사하게 생분해성 멀칭필름으로 마늘과 옥수수를 2년 연작하여도 토양 용적밀도를 알아본 결과 PE 필름과 유의적인 차이가 없다는 것으로 보고되었다(Zhang *et al.*, 2022).

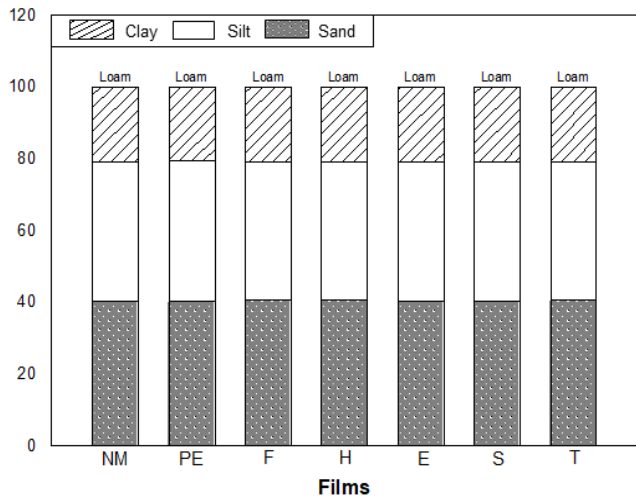
생분해성 멀칭필름 종류별 토양 온도와 수분함량은 데이터 로거를 사용하여 시험기간 동안 측정하였다(Figs. 3, 4). 2022년 시험기간 동안 토양온도는 생분해성 멀칭필름과 PE 필름 간에 큰 차이가 없었으나, 무멀칭에 비해 멀칭처리를 했을 때 토양온도가 2°C 정도 상승하는 효과가 있었다. 토

**Table 11.** Soil bulk density, porosity, and three phases at 101 days after transplanting as affected by biodegradable and PE films in soybean fields in 2023.

Treatment	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Porosity (%)	Three phases (%)		
			Solid	Liquid	Gaseous
Non-mulching	1.0 <sup>a</sup>	61.2 <sup>a</sup>	38.8 <sup>a</sup>	22.6 <sup>a</sup>	38.7 <sup>a</sup>
PE	1.1 <sup>a</sup>	60.2 <sup>a</sup>	39.8 <sup>a</sup>	23.2 <sup>a</sup>	37.0 <sup>a</sup>
F	1.0 <sup>a</sup>	63.3 <sup>a</sup>	36.7 <sup>a</sup>	21.4 <sup>a</sup>	41.9 <sup>a</sup>
H	1.0 <sup>a</sup>	60.6 <sup>a</sup>	39.4 <sup>a</sup>	22.0 <sup>a</sup>	38.6 <sup>a</sup>
E	1.0 <sup>a</sup>	62.9 <sup>a</sup>	37.1 <sup>a</sup>	21.3 <sup>a</sup>	41.6 <sup>a</sup>
S	1.0 <sup>a</sup>	61.9 <sup>a</sup>	38.1 <sup>a</sup>	21.8 <sup>a</sup>	40.2 <sup>a</sup>
T	1.0 <sup>a</sup>	63.0 <sup>a</sup>	37.0 <sup>a</sup>	19.8 <sup>a</sup>	43.2 <sup>a</sup>

\* PE, Polyethylene film; F, H, E, S, and T biodegradable films.

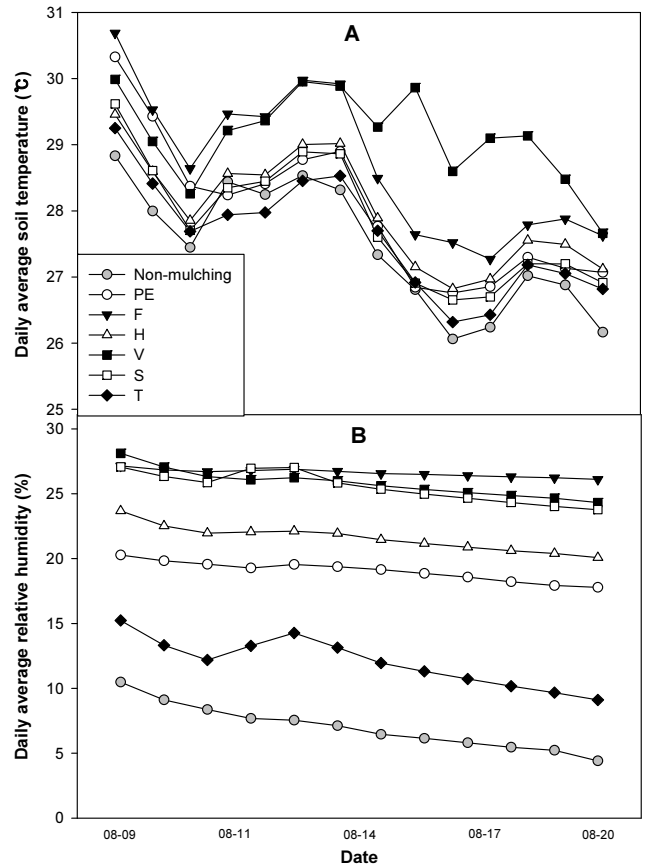
\*\* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.



**Fig. 2.** Soil texture (%) at 101 days after transplanting as affected by biodegradable and PE films at soybean fields in 2023.

\* NM, Non-mulching; PE, Polyethylene film; F, H, E, S, and T biodegradable films.

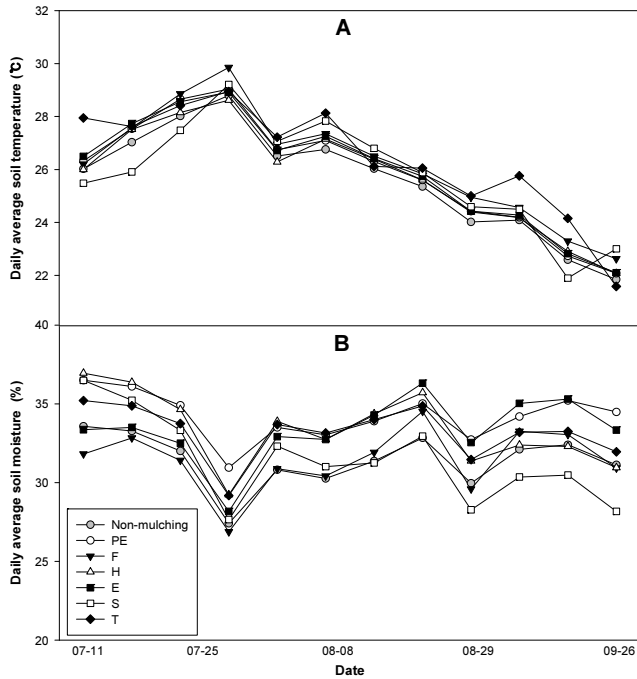
양 수분함량도 분해 필름과 PE 필름 간에 큰 차이가 없었으나, 무멀칭에 비해 멀칭처리를 했을 때 토양수분이 5~15% 정도 증가하였다. 2023년 시험기간 동안 토양온도는 2022년 연구처럼 필름 종류 간에 큰 차이가 없었으나, 무멀칭에 비해 2°C 정도 상승하였다. 토양수분의 경우도 멀칭으로 인하여 5% 정도 증가하였으나, 생분해성 멀칭필름과 PE 필름 간에 큰 차이가 없었다. 동계작물 양파재배지에 생분해성 멀칭필름의 멀칭처리로 인하여 동계 지온상승에 영향을 끼친 것으로 보고 하였다(Jung *et al.*, 2023). 또한 옥수수재배지의 생분해성 멀칭필름의 토양 온도는 무멀칭에 비해 평균



**Fig. 3.** Soil temperature (A) and soil moisture (B) in soybean fields as affected by biodegradable and PE films in 2022.

\* PE, Polyethylene film; F, H, E, S, and T biodegradable films.

3.6°C 높고, 토양의 용존수분함량도 7.8 mm 증가하는 것으로 보고 되었다(Yin *et al.*, 2019). 결론적으로 생분해성 멀



**Fig. 4.** Soil temperature (A) and soil moisture (B) in soybean fields as affected by biodegradable and PE films in 2023.

\* PE, Polyethylene film; F, H, E, S, and T biodegradable films.

칭필름이 PE 필름과 동일하게 지온상승과 토양 수분함량을 증가시켰다.

**생분해성 멀칭필름 종류별 콩 후작물(보리) 초기생육에 미치는 영향**

생분해성 멀칭필름을 사용한 콩재배지에서 콩 수확 후 필름 종류별로 토양을 채취하여 후작물인 보리를 파종하고 발아율, 초장 및 지상부생체중을 조사하였다(Table 12). 2022년과 2023년의 발아율은 필름 종류에 상관없이 유의적인 차이가 없었으며 초장과 지상부 생체중 모두 필름 종류에 상관없이 유의적인 차이가 없었다. 종합적으로 2022년과 2023년 시험 결과로 볼 때 본 연구에 사용한 필름은 후작물 보리 생육에 영향을 미치지 않았다. 본 연구와 유사하게 생분해성 멀칭필름을 갈아 토양에 섞어 보리, 귀리 및 대두를 재배하였을 때 후작물 생육에 영향이 없었다(Li *et al.*, 2021; Reay *et al.*, 2023). 결론적으로 본 연구에 사용된 생분해성 멀칭필름은 후작물 생육에 부정적인 영향이 없는 것으로 사료된다.

따라서 종합적으로 볼 때 본 연구에 사용된 생분해성 멀칭필름은 콩재배지에서 광투광률, 분해율, 토양온도와 수분함량을 증가시키면서, 토양의 화학성 및 물리성에 부정적

**Table 12.** Effects of various biodegradable films on germination, plant height, and shoot fresh weight of barley in 2022 and 2023.

Year	Treatment	Germination (%)	Plant height (cm)	Shoot fresh weight (g/3 plants)
2022	Non-mulching	75.0 <sup>a</sup>	16.3 <sup>a</sup>	0.4 <sup>a</sup>
	PE	90.0 <sup>a</sup>	14.3 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>
	F	80.0 <sup>a</sup>	15.0 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>
	H	90.0 <sup>a</sup>	15.9 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>
	V	90.0 <sup>a</sup>	16.1 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>
	S	75.0 <sup>a</sup>	15.8 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>
	T	95.0 <sup>a</sup>	16.6 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>
2023	Non-mulching	93.3 <sup>a</sup>	13.4 <sup>a</sup>	0.3 <sup>a</sup>
	PE	100.0 <sup>a</sup>	14.5 <sup>a</sup>	0.3 <sup>a</sup>
	F	93.3 <sup>a</sup>	14.4 <sup>a</sup>	0.3 <sup>a</sup>
	H	100.0 <sup>a</sup>	12.6 <sup>a</sup>	0.3 <sup>a</sup>
	E	100.0 <sup>a</sup>	13.3 <sup>a</sup>	0.3 <sup>a</sup>
	S	93.3 <sup>a</sup>	14.6 <sup>a</sup>	0.3 <sup>a</sup>
	T	86.7 <sup>a</sup>	14.6 <sup>a</sup>	0.3 <sup>a</sup>

\* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.

\*\* PE, Polyethylene film; F, H, E, S, and T biodegradable films.

**Table 13.** Summary of this study.

Year	Treatment	Growth	Yield	Light transmittance (%)	Visual decomposition levels (0~5)	Decomposition (%)	pH	EC	Chemical property		Physical property	Soil temperature	Soil moisture	Post-crop
									Available phosphate	Others				
2022	PE	-	-	0.2	1.0	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	×	×	1.9	2.0	19.1	×	×	×	×	×	×	×	×
	H	×	×	1.0	4.0	10.0	×	×	×	×	×	×	×	×
	V	×	×	17.6	2.3	26.7	↑	↓	×	×	×	×	×	×
	S	×	×	2.7	2.0	9.8	×	×	×	×	×	×	×	×
	T	×	×	4.3	4.0	14.0	×	×	×	×	×	×	×	×
2023	PE	-	-	0.3	0.3	3.1	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	×	×	6.4	3.7	19.5	×	×	×	×	×	×	×	×
	H	×	×	15.8	4.0	33.4	×	×	×	×	×	×	×	×
	E	×	×	7.6	3.3	13.0	×	×	↑	×	×	×	×	×
	S	×	×	7.0	3.7	23.7	×	×	↑	×	×	×	×	×
	T	×	×	14.8	4.3	36.0	×	×	↑	×	×	×	×	×

\* PE, Polyethylene film; F, H, E, S, and T biodegradable films; ×, No differences ; ↑, Increase; ↓, Decrease.

인 영향이 없는 것으로 판단되었다(Table 13). 또한 생분해성 멀칭 필름을 사용한 콩 재배지에서 생육 및 수량뿐만 아니라 보리를 후작물 재배해도 생분해성 필름에 의해 부정적인 영향을 끼치지 않는 것으로 나타나서 본 연구에 사용된 생분해성 멀칭필름을 콩 재배지에 안전하게 사용할 수 있을 것으로 판단되었다.

### 적 요

본 연구의 목적은 다양한 생분해성 멀칭필름을 사용한 콩 재배지에서 작물 생육, 수량, 필름 분해율, 토양 화학성 및 물리성 등을 조사하여 안전하게 사용할 수 있는지를 알아보고자 수행하였다. 2022년과 2023년 콩의 초장, 분지수 및 엽록소 함량은 조사 시기에 상관없이 PE필름과 생분해성 멀칭필름 간에 유의적인 차이가 없었다. 또한 콩 수량구성 요소 및 수량은 시험기간(2022, 2023)에 상관없이 PE필름과 생분해성 멀칭필름 간에 유의적인 차이가 없었다. 생분해성 멀칭필름의 투광율은 콩 이식 후 112일에 6.4~15.8%를 보였고, 2022년보다는 2023년에 높았다. 2022년과 2023년 생분해성 멀칭필름의 붕괴정도는 콩 이식 후 20일부터 시작하였고, 시간이 경과할수록 증가하였다. 또한 콩 수확 후 포장에 잔재한 생분해성 멀칭필름은 수확 후 50일에 대부분 붕괴되었다. 콩 이식 후 112일에 생분해성 멀칭필름의 분해율의 경우 2022년에는 9.8~26.7%를 보였고, 2023년에는 13~36%를 보였다. 토양 pH와 EC는 조사 연도와 조사 시기에 따라 차이를 보였지만, 전반적으로 생분해성 멀칭필름과 PE필름 간에 유의적인 차이가 없었다. 토양 유

기물, 질산태질소와 치환성양이온 함량은 생분해 필름 종류에 상관없이 PE필름과 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그러나 유효인산 함량은 E, S 및 T 생분해성 멀칭필름이 PE필름에 비해 유의적으로 높았다. 토양 물리성(토성, 용적 밀도, 공극률 등)도 생분해성 멀칭필름과 PE필름 간의 유의적인 차이가 없었다. 2022년과 2023년 토양온도와 수분은 생분해성 멀칭필름과 PE필름 간에 차이가 없으나, 토양온도는 무멀칭에 비해 2°C 정도 상승하였고, 토양수분은 5~15% 정도 증가하였다. 생분해성 필름을 사용한 콩 재배지 토양에 후작물 보리 재배 시 생육에는 영향을 미치지 않았다. 따라서 본 연구에 사용된 생분해성 멀칭필름은 콩의 생육, 수량 및 토양환경에 부정적인 영향 없이 안전하게 사용할 수 있을 것으로 판단되었다.

### 사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(IRIS 과제번호: RS-2022-RD010403)의 지원으로 수행된 결과입니다. 연구과제의 실험 진행을 도와 주신 김희권, 정병준, 황인택, 김영옥, 남지영, 이옥기 연구원 분들께 감사드립니다.

### 인용문헌(REFERENCES)

Brault, D., K. A. Stewart, and S. Jenni. 2002. Optical properties of paper and polyethylene mulches used for weed control in lettuce. HortScience. 37(1) : 87-91.  
 Closas, L. M., J. Costa, and A. M. Pelacho. 2017. Soil Degradable Bioplastics for a Sustainable Modern Agriculture. pp. 67-104.

- Costa, R., A. Saraiva, L. Carvalho, and E. Duarte. 2017. The use of biodegradable mulch films on strawberry crop in Portugal. *Sci. Hort.* 173 : 65-70.
- Cox, M. S. 2001. The Lancaster soil test method as an alternative to the Mehlich 3 soil test method. *Soil Sci.* 166 : 484-489.
- Cui, R. X. and B. W. Lee. 2001. Soil surface Energy balance and soil temperature in potato field mulched with recycled-paper and black plastic film. *KJCS.* 46(3) : 229-235.
- Fan, P., H. Yu, B. Xi, and W. Tan. 2022. A review on the occurrence and influence of biodegradable microplastics in soil ecosystems: are biodegradable plastics substitute or threat? *Environ. Int.* 163 : 1-12.
- Gao, X., D. Xie, and C. Yang. 2021. Effects of a PLA/PBAT biodegradable film mulch as a replacement of polyethylene film and their residues on crop and soil environment. *Agric. Water Manag.* 255 : 1-9.
- Jung, J. S., D. W. Park, and H. S. Choi. 2023. Effect of biodegradable film mulching on soil environment and onion growth and yield. *Korean J. Corp Sci.* 68(3) : 207-215.
- Kim, J. T., T. H. Kim, S. Kim, and K. H. Seo. 2016. Structural, thermal, and mechanical properties of PLA/PBAT/MEA blend. *Polym. Korea.* 40(3) : 371-379.
- Kim, W. H. and B. Hong. 1986. Effects of mulching materials on physical properties of soil and grain yield of sesame. *KJCS.* 31(3) : 260-269.
- Kononova, M. M. 1996. *Soil Organic Matter: Its Nature, Its Role in Soil Formation and in Soil Fertility*; Pergamon Press : Oxford, UK.
- Kyrikou, I. and D. Briassoulis. 2007. Biodegradation of Agricultural Plastic Films: A Critical Review. *J. Polym. Environ.* 15 : 125-150.
- Lee, H. J., M. J. Kim, H. L. Kim, Y. B. Kwack, J. K. Kwon, K. S. Park, H. G. Choi, and K. Bekhzod. 2015. Effects of biodegradable mulching film application on cultivation of garlic. *Protected Hort. Plant Fac.* 24(4) : 326-332.
- Li, B., S. Huang, H. Wang, M. Liu, S. Xue, D. Tang, W. Cheng, T. Fan, and X. Yang. 2021. Effects of plastic particles on germination and growth of soybean (*Glycine max*): A pot experiment under field condition. *Environ. Pollut.* 272 : 1-9.
- Liang, W., Y. Zhao, D. Xiao, J. Cheng, and J. Zhao. 2020. A biodegradable water-triggered chitosan/hydroxypropyl methylcellulose pesticide mulch film for sustained control of phytophthora sojae in soybean (*Glycine max* L. Merr.). *J. Clean. Prod.* 245 : 118943.
- Liu, Q., Y. Wang, J. Liu, X. Liu, Y. Dong, X. Huang, Z. Zhen, J. Lv, and W. He. 2022. Degradability and properties of PBAT-Based biodegradable mulch films in field and their effects on cotton planting. *Polymers.* 14 : 1-15.
- Meng, F., X. Yang, M. Riksen, and V. Geissen. 2022. Effect of different polymers of microplastics on soil organic carbon and nitrogen? a mesocosm experiment. *Environ. Res.* 204 : 1-10.
- Na, K., K. H. Lee, D. H. Lee, and Y. H. Bae. 2006. Biodegradable thermo-sensitive nanoparticles from poly(l-lactic acid)/poly(ethylene glycol) alternating multi-block copolymer for potential anti-cancer drug carrier. *Eur. J. Pharm. Sci.* 27 : 115-122.
- Ngouajio, M., R. Auras, R. T. Fernandez, and M. Rubio. 2008. Field performance of aliphatic-aromatic copolyester biodegradable mulch films in a fresh market tomato production system. *HortTechnology.* 18(4) : 605-610.
- Qin, M., C. Chen, B. Song, M. Shen, C. Weicheng, H. Yang, G. Zeng, and J. Gong. 2021. A review of biodegradable plastics to biodegradable microplastics: Another ecological threat to soil environments? *J. Clean. Prod.* 312 : 1-15.
- RDA. 2014. *Food Crop Environment Analysis Method Handbook*. National Institute of Crop Science. pp. 1-140.
- Reay, M. K., L. M. Greenfield, M. Graf, C. E. M. Lloyd, R. P. Evershed, D. R. Chadwick, and D. L. Jones. 2023. LDPE and biodegradable PLA-PBAT plastics differentially affect plant-soil nitrogen partitioning and dynamics in a *Hordeum vulgare* mesocosm. *J. Hazard. Mater.* 447 : 1-10.
- SAS (Statistical Analysis System). 2000. *SAS/STAT Users Guide, Version 7*. Statistical Analysis System Institute, Cary, NC, USA.
- Shen, M., B. Song, C. Zhou, E. Almatrafi, T. Hu, G. Zeng, and Y. Zhang. 2022. Recent advances in impacts of microplastics on nitrogen cycling in the environment: A review. *Sci. Total Environ.* 815 : 1-9.
- Sintim, H. Y., S. Bandopadhyay, M. E. English, A. I. Bary, J. L. González, J. M. DeBruyn, S. M. Schaeffer, C. Miles, and M. Flury. 2021. Four years of continuous use of soil-biodegradable plastic mulch: impact on soil and groundwater quality. *Geoderma.* 381 : 1-10.
- Somanathan, H., R. Sathasivam, S. Sivaram, S. M. Kumaresan, M. S. Muthuraman, and S. U. Park. 2022. An update on polyethylene and biodegradable plastic mulch films and their impact on the environment. *Chemosphere.* 307(3) : 135893.
- Souza, A. G., R. R. Ferreira, J. Harada, and D. S. Rosa. 2020. Field performance on lettuce crops of poly(butyleneadipate-co-terephthalate)/polylactic acid as alternative biodegradable composites mulching films. *J. Appl. Polym. Sci.* 138(11) : 1-13.
- Steinmetz, Z., C. Wollmann, M. Schaefer, C. Buchmann, J. David, J. Tröger, K. Muñoz, O. Frör, and G. E. Schaumann. 2016. Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation? *Sci. Total Environ.* 550 : 690-705.
- Tarara, J. M., 2000. Microclimate modification with plastic mulch. *Hortscience.* 35 : 169-180.
- Touchaleaumem, F., H. A. Coussy, G. César, G. Raffard, N. Gontard, and E. Gastaldi. 2018. How performance and fate of biodegradable mulch films are impacted by field ageing. *J. Polym. Environ.* 26 : 2588-2600.
- Yin, M., Y. Li, H. Feng, and P. Chen. 2019. Biodegradable

mulching film with an optimum degradation rate improves soil environment and enhances maize growth. *Agric. Water Manag.* 216 : 127-137.  
Zhang, M., Y. Xue, T. Jin, K. Zhang, Z. Li, C. Sun, Q. Mi, and Q.

Li. 2022. Effect of long-term biodegradable film mulch on soil physicochemical and microbial properties. *Toxics*. 129(10) : 1-14.