

## 생분해성 멀칭필름이 토양환경과 양파 생육 및 수량에 미치는 영향

정지식<sup>1</sup> · 박도원<sup>2</sup> · 최현석<sup>3,4,†</sup>

### Effect of Biodegradable Film Mulching on Soil Environment and Onion Growth and Yield

Ji-Sik Jung<sup>1</sup>, Do-Won Park<sup>2</sup>, and Hyun-Sug Choi<sup>3,4,†</sup>

**ABSTRACT** This study was compared the soil environment and growth and yield of onion (*Allium cepa* L.) treated with non-mulching (NM) and mulching polyethylene film (PEF) and two biodegradable films (BFI and BFII) commonly used in farmhouses. Visual observation confirmed the degradation of BFI and BFII films after 150 days after transplanting (DAT). BFII increased light penetration into the films and reduced the weight maintenance after 180 DAT, with a high decomposition at 30 days after soil tilling. Soil moisture contents much fluctuated between -14 kPa and - 0 kPa in NM plots, increasing the minimum soil temperature of BFI plots. Mulching treatments decreased soil organic matter contents but did not substantially increase soil mineral nutrients, soil bulk density, and number of bacteria compared to those of NM plots. Onion root growth was increased by PEF and BFI treatments at an early growth stage, 60 DAT, with the most remarkable stem extension observed for PEF and BFI treatments after 150 DAT. PEF and BFI treatments increased the bulb's diameter, length, weight, and lodging at 180 DAT. BFI treatments exhibited a high portion of the "very large" category producing with 55.3 tons ha<sup>-1</sup> based on the classification into bulb size, followed by PE (49.3 tons), NM (9.4 tons), and BFII treatments (2.7 tons) at 230 DAT.

**Keywords** : biodegradable, mulch, nutrients, onion, soil moisture

백합과에 속하는 관속식물인 양파(*Allium cepa* L.)는 중앙 아시아가 원산지인 우리나라 대표적인 조미채소에 속하는 식물로 기원은 남미 안데스산맥 지역의 향신작물로 알려져 있다(RDA, 2021). 양파는 단백질과 무기물 및 당질 등의 영양물질과 황화합물인 다이설파이드와 설폭사이드 등의 건강 기능성물질 등을 많이 함유하여 각종 질병의 예방과 항암 작용이 높은 식품이다(RDA, 2021). 하지만, 국내 양파재배 면적은 2023년 17,263 ha로 지난 10년 전(20,036 ha)보다 약 2,773 ha 정도 감소하였는데 이는 농촌 고령화 및 코로나19로 인한 해외노동력 수급 감소 등에 따른 인건비 상승 등의 결과이다. 현재 양파의 시도별 재배 면적은

전남이 6,079 ha로 가장 넓고, 경남(3,428 ha), 경북(2,986 ha), 전북(1,751 ha) 순으로 정식단계에서 15°C 이상 요구되는 남부지방에서 많이 재배되고 있다(KOSTAT, 2023). 가을에 파종되는 '카타마루' 양파는 병해충에 강하고 추대 및 도복이 낮고 1구 평균 400 g으로 대과이지만 수확 후 6개월 이상 장기간 저장이 가능하므로 국내 남부지방에서 많이 재배되고 있다. 양파는 장일 조건에서 광합성이 활발하여 저장양분의 축적이 증가하므로 인경의 형성 및 비대를 촉진하기 위한 토양관리로서 폴리에틸렌(PE)필름의 표토 멀칭이 필수적으로 요구되고 있다(Somanathan *et al.*, 2022).

농촌에서 폐기되는 농업용 비닐은 2020년 기준으로 307,159

<sup>1</sup>한경국립대학교 원예생명공학전공 연구원 (Researcher, Department of Horticultural Biotechnology, Hankyong National University, Anseong 17579, Republic of Korea)

<sup>2</sup>한경국립대학교 원예생명공학전공 석사과정 (MS Student, Department of Horticultural Biotechnology, Hankyong National University, Anseong 17579, Republic of Korea)

<sup>3</sup>한경국립대학교 원예생명공학전공 교수 (Professor, Department of Horticultural Biotechnology, Hankyong National University, Anseong 17579, Republic of Korea)

<sup>4</sup>한경국립대학교 국제농업기술정보연구소 교수 (Professor, International Agriculture, Technology and Information, Hankyong National University, Anseong 17579, Republic of Korea)

†Corresponding author: Hyun-Sug Choi; (Phone) +82-31-670-5108; (E-mail) [hschoi@hknu.ac.kr](mailto:hschoi@hknu.ac.kr)

<Received 19 July, 2023; Revised 7 August, 2023; Accepted 8 August, 2023>

톤 정도로 보고되었다(KECO, 2021). 이중 노지멀칭용 저밀도 PE (LDPE) 비닐이 약 40%를 차지하고 있으며, 수거량(195,191톤)의 약 35%는 방치된 상태로 배출되고 있다(KECO, 2021). 하우스용 PE는 재활용되는 비율이 높지만, 멀칭용 PE 비닐은 사용 후 품질이 낮아져서 국가에서 수거 또는 재활용되고 나머지는 대부분 매립 또는 불법 소각되는 것으로 추정되고 있다(KECO, 2021). PE 필름은 고분자간 결합의 중합체로 토양 내에서 완전히 분해되기까지 수백 년 이상 걸릴 수 있으므로 다이옥신 등의 잔류성 독성물질 발생과 기후변화를 유발하는 것으로 알려져 있다(Han *et al.*, 2012; Somanathan *et al.*, 2022; You *et al.*, 2015). 이에 전 세계적으로 환경 영향 표지 및 온실가스의 총량과 관련한 탄소발자국(carbon footprint)과 탄소중립에 대한 관심이 대두되면서 바이오플라스틱의 연구개발이 활발히 진행되고 있다(Chen *et al.*, 2023; Kasirajan & Ngouajio, 2012; RameshKumar *et al.*, 2000; Somanathan *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2020; You *et al.*, 2015). 일반 PE 제품과 유사한 물성 특성을 보인 탄소 저감형 고분자 바이오플라스틱은 구성성분을 기준으로 생분해플라스틱과 산화생분해플라스틱, 그리고 바이오베이스플라스틱, 천연고분자로 대분류되고 있다(You *et al.*, 2015). 이중, 미생물에 의해 분해가 이루어지는 생분해 플라스틱은 천연물 계열인 PLA, PHA, TPS 등과 분해성을 부여한 석유 원료 중합체인 PBS, PBAT 등의 구성성분으로 세분되고 이를 적절하게 블렌딩 또는 컴바운딩 하여 농업용 멀칭소재로 주로 이용되고 있다(Kasirajan & Ngouajio, 2012; Lee *et al.*, 2009; RameshKumar *et al.*, 2020; Sintim *et al.*, 2019; Somanathan *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2022).

미국과 일본, 그리고 유럽 선진국의 농업용 생분해 멀칭 시장은 바이오베이스 소재를 중심으로 실용화 개발 및 제품화가 이루어지고 있으며(You *et al.*, 2015), 다양한 생분해성 필름의 멀칭을 통한 작물생육 및 토양 환경에 미치는 연구가 활발하게 이루어지고 있다(Chen *et al.*, 2023; Kasirajan & Ngouajio, 2012; Sintim *et al.*, 2019; Somanathan *et al.*, 2022; You *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2022). 국내에서는 작물 재배환경을 고려하여 다양한 부산물을 함유한 생분해성 멀칭필름의 실내 및 실외 생분해도 평가를 위한 연구가 2010년 이후로 꾸준히 진행되고 있다. 하지만 국내 바이오 플라스틱의 제품과 관련하여 엄격한 기준 및 원천기술 부족 등으로 생산 기술은 선진국 수준에는 많이 못 미치는 실정에 있으며(You *et al.*, 2015), 이에 따른 생분해성 필름의 작물 재배 효과 실증 연구도 일부 마늘, 더덕, 콩, 고구마, 옥수수 등의 식량작물에서 주로 연구되고 왔다(Lee *et al.*,

2009; Lee *et al.*, 2015; Lim *et al.*, 2016; Moon *et al.*, 2016; Yoon *et al.*, 2016).

본 시험은 시중에서 많이 유통되고 있는 생분해성 멀칭 필름 2종을 농업 현장에 적용하여 양파의 월동 피복소재로서의 가능성을 파악하고 토양환경과 작물생육 및 수량에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 시험 포장 환경

본 시험은 경상북도 구미시에 소재한 ‘카타마루’ 양파를 재배하고 있는 농가에서 시험구역을 50 m×20 m로 설정하여 수행하였다. 2022년 10월 25일에 양파 표준 시비량에 근거(RDA, 2021)하여 ha당 양파 전용비료(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O-MgO-B: 13-6-8+2+0.2, Chobi Co., Ltd., Seoul, Korea)를 600 kg, 가축분 퇴비 5,000 kg (30% Organic matter; 66% poultry manure compost, 26% mushroom waste medium, 3% dolomitic limestone, 5% coffee ground)을 전면 기비로 시용하였다. 추가로 토양 살충제(3% Terbufos, Counter, FarmHannong Co., Ltd., Seoul, Korea)를 ha당 60 kg 정도 살포한 후 경운하였으며, 이후 관리기로 이랑과 고랑을 조성하였다. 10월 29일에 양파의 관행 재식거리에 의거하여 시험구 당(90 cm×300 cm) 110포기를 정식하였다(RDA, 2021). 양파 시험구의 수분관리는 토양 건조가 확인되면 점적관수 시설을 이용하여 충분히 관수하였다.

시험처리는 무처리(Non-mulching, NM), 저밀도 PE 필름(Polyethylene film, PEF), 생분해필름I (Biodegradable film I, BFI), 생분해필름II (Biodegradable film II, BFII)의 4처리를 포함하였다. PEF, BFI, BFII 자재 모두 흑색의 0.015 mm 두께이었으며, BFI와 BFII는 각각 PBAT+PLA와 PBAT+PBS+PLA를 주요 구성성분으로 제조된 제품이었다. NM 구는 양파 생육중기인 3월까지의 발생한 풀을 제초하였고, 이후에는 방임상태로 관리하였다.

11월 30일에 동해를 방지하기 위하여 시험 포장에 백색 부직포를 씌워서 보온하였으며 3개월 후에 제거하였다. 제거 직후 고자리파리가 발생하여 2월 28일과 3월 7일에 각각 방제 농약(20% Carbosulfan, Malrupu, SG HANKOOK SAMGONG Co., Ltd., Seoul, Korea)을 1,000배액으로 관주 처리하였고, 기타 병 발생은 생육기간 내내 관찰되지 않았다.

### 조사항목

정식 후 수확기까지의 양파밭의 평균온도, 그리고 평균 최소강수량과 누적강수량을 평년(1991~2020)과 비교하여

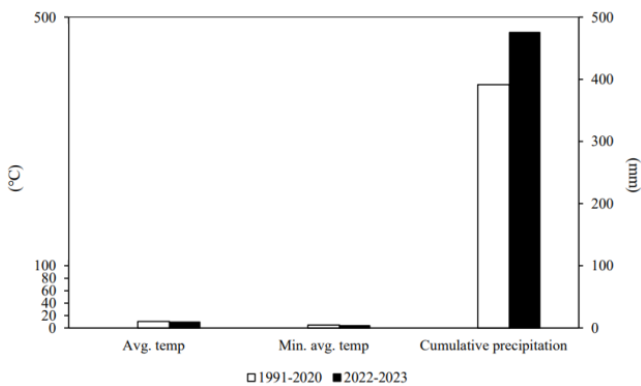
Fig. 1에 제시하였다(KMA, 2023). 정식 후 30일 간격으로 210일 차(210 days after transplanting, DAT)까지 필름의 분해도를 육안으로 조사하였고, 휴대용 조도계(CANA-0010, Tokyo PhotoElectronic Co., Ltd., Tokyo, Japan)로 필름 내부의 광 투과율을 측정하였다. 동시에 필름을 20 cm×20 cm 크기로 도려낸 후, 물로 세척 및 자연 건조 후에 무게를 측정하여 초기값 무게와 비교하여 필름의 분해 정도를 알아 보았다(Lim *et al.*, 2016).

작물 수확 및 경운 한 달 후(270 DAT)에 멀칭필름의 토양 내 거동을 확인하기 위하여, 시험구 당 토양 40 cm×40 cm 면적의 0~10 cm 깊이에서 생분해성 필름의 잔존량을 채취하여 무게와 분해율을 추정하였다.

처리구 별 약 10 cm 지점의 표토에서 토양 수분 데이터 로거(Wireless soil moisture sensor, Efento Co., Kraków, Poland)를 설치하여 토양 최소 및 최대 수분함량과 토양 최소 및 최대온도를 2월 4일~6일까지 3일간 각각 측정하였다.

잡초 발생을 비교하기 위하여 210 DAT에 시험구 당 토양 40 cm×40 cm 면적에서 멀칭용 필름 위에 발생한 잡초를 모두 뿌리 채 시료 채취하여 신선중과 건물중을 측정하여 제시하였다.

시험처리 전 및 생육 후반기인 2023년 4월 30일(정식 후 180일 차)에 토양분석을 위하여 토양오거로 표토 0~20 cm 깊이의 토양을 채취하였고, 음건 후 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준을 적용하여 pH와 EC는 이온전극법을 이용하여 측정하였다. 토양 유기물은 Tyurin법, 질산태질소는 2M KCl 용액으로 침출한 후 비색측정법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성 칼륨 및 칼슘과 마그네슘은 1N-ammonium acetate로 침출하여 원자흡광분석법으로 각각 분석하였다.



**Fig. 1.** Average temperature, minimum average temperature, and accumulated precipitation in an experimental farm station, Gumi, from October in 2022 to June in 2023.

시험구 내 토성은 210 DAT에 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA, 2003)에 의거하여 피펫법을 이용하여 입자 분포를 조사한 후 결정하였고, 용적밀도는 코어측정법으로 분석하였다. 일반세균은 표준평판법을 이용하여 Plate Count Agar를 사용하여 계수하였다.

작물생육 조사는 정식 후 0일 차부터 30일 간격으로 뿌리 채 시료 채취하여 210일 차까지 조사하였다. 농촌진흥청 연구조사분석 기준(RDA, 2003)을 참고하여, 초장 및 뿌리 길이, 엽수, 총 엽 신선중, 구근길이(L)와 직경(D) 및 L/D, 그리고 구근의 생체중을 조사하였다. 230일 차에 양파를 최종 수확하여 구근의 크기를 기준으로 10 cm 이상(특), 5~10 cm (대), 3~5 cm (중), 3 cm 이하(소)로 각각 분류하여 처리구 별로 상품성을 비교하였다.

정식 후 160일 차에 양파 도복율과 추대율을 육안으로 조사하여 기록하였다.

### 통계처리

시험구는 처리 당 3반복(1구=1반복, 총 15구)으로 완전 임의배치법으로 설계하였고, 구역 당 데이터작물(data crop) 2포기를 선정하여 30일마다 수확을 하여 자료 분석에 이용하였다. 실험 자료는 SPSS 통계분석 프로그램(SPSS V21, SPSS Inc., Chicago, USA)의 일원 배치 분산분석인 1-way ANOVA를 통하여 Duncan's Multiple Range (DMR) 테스트로 처리 간에 5% 수준에서 통계학적으로 유의적 수준을 검정하여 그래프와 표로 제시하였다.

## 결과 및 고찰

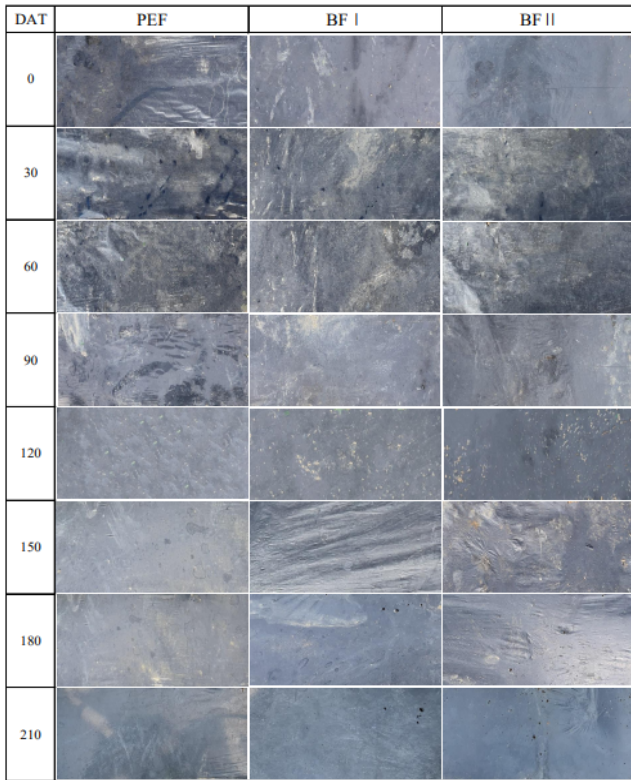
### 생분해성 멀칭필름의 시기별 분해도

멀칭된 필름의 분해양상을 시기별로 조사한 결과, 정식 후 210일차(210 DAT)까지 PE 멀칭자재의 분해도는 육안으로 변화가 거의 확인되지 않았다(Fig. 2 and Fig 3A). BFI와 BFII 자재는 정식 후 120일 차까지는 생분해도의 변화가 거의 없다가 150일차부터 필름 표면의 붕괴가 관찰되었다. 필름 내부의 광투과율을 조사한 결과, BFII 자재는 30일차부터 통계적으로 유의성 있게 높게 나타났고, 150일차부터 증가세가 뚜렷하였다(Fig. 3B). 생분해성 자재는 토양 내로 혼입 되기 전에는 자외선과 수분, 바람 등에 의해 분해가 일부 진행이 되는 것으로 알려져있다(Han *et al.*, 2012; Kasirajan & Nguajio, 2012; RameshKumar *et al.*, 2000; Sintim *et al.*, 2019; Somanathan *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2022). 본 시험에서는 평년보다 다소 높은 강수량(Fig. 1)과 BFII 자재내의 높은 투과율에 의해

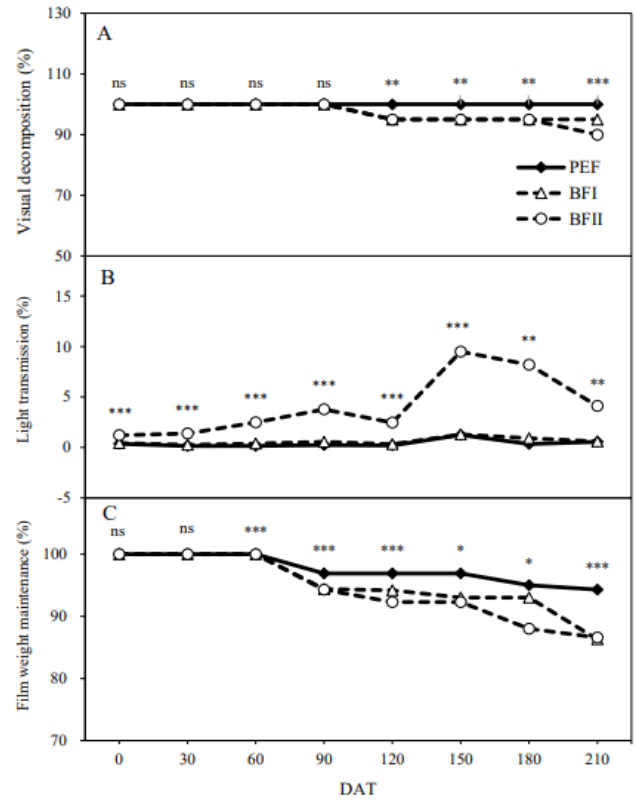
필름의 붕괴가 내부적으로 진행되어 180일차 이후에 필름 중량이 90%이하로 유지된 것으로 판단되었다(Fig. 3C).

작물 수확 및 필름을 토양 혼입 한 달 후, 토양 내 생분해성 멀칭필름의 거동을 조사한 결과, BFI이 ha당 3.9톤, BFII 3.5톤으로 조사되었고, 분해율도 각각 38.3%, 5.8%로 각각 나타났다(Fig. 4). 실제 이러한 분해 물질들이 토양 및 수질

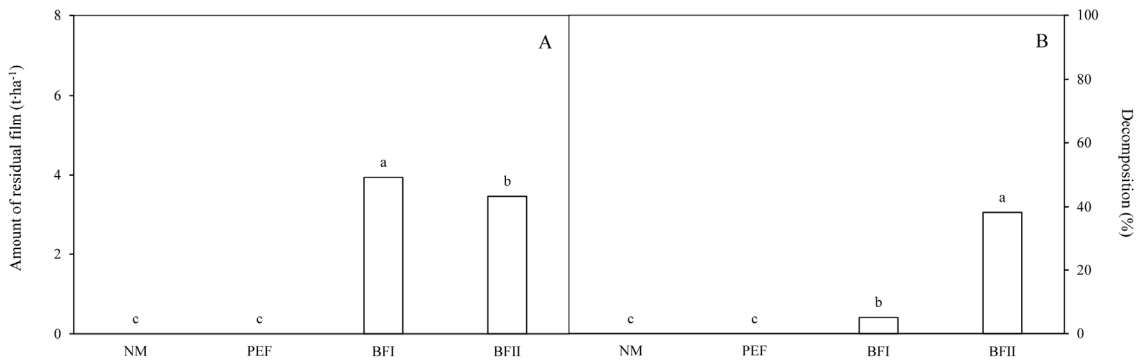
환경에 위험인자가 될 가능성에 관한 추후 연구도 필요할 것으로 판단되었다.



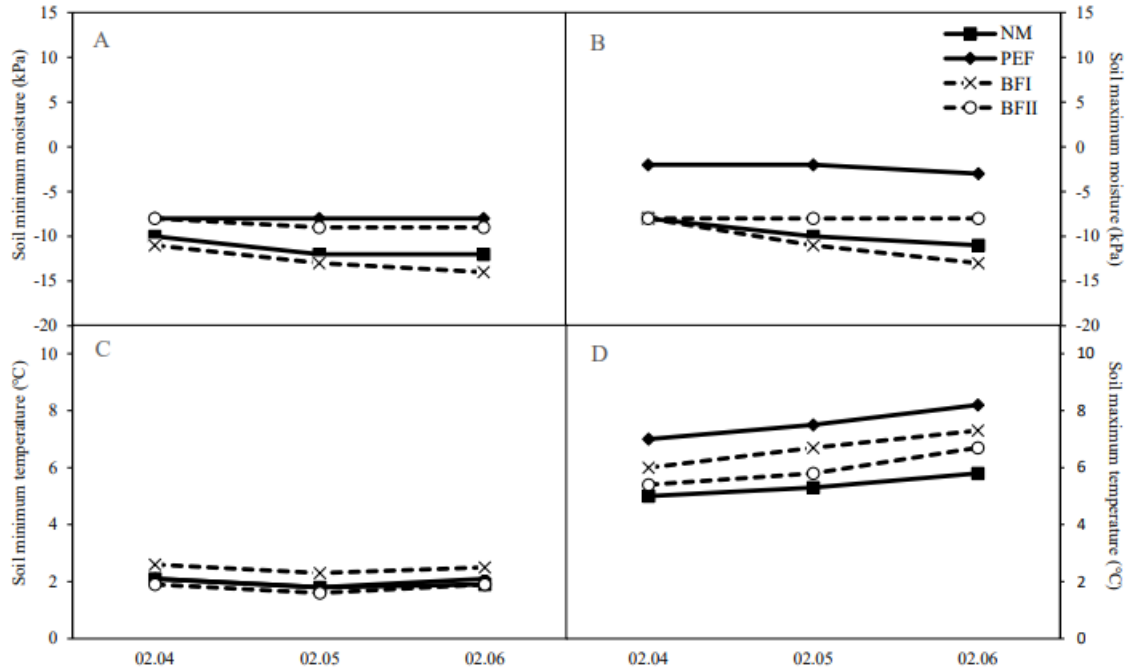
**Fig. 2.** Photo view of polyethylene film (PEF), biodegradable film I (BF I), and biodegradable film II (BF II) in an onion field at 30 days interval from 0 to 210 days after transplanting (DAT).



**Fig. 3.** Visual decomposition (panel A), light transmission (panel B), and film weight maintenance (panel C) of polyethylene film (PEF), biodegradable film I (BF I), and biodegradable film II (BF II) applied with an onion field at 30 days interval from 0 to 210 days after transplanting (DAT), Gumi, 2022-2023. \*, \*\*, or \*\*\* indicate significantly difference among treatments for 30 days interval,  $p < 0.05$ ,  $0.01$ , or  $0.001$ , respectively; ns, not significance.



**Fig. 4.** Amount of residual film (panel A) and decomposition (panel B) of non-mulching (NM), polyethylene film (PEF), biodegradable film I (BF I), and biodegradable film II (BF II) at 30 days after tilling the onion field, Gumi, July in 2023. Means separation among the treatments among a column by Duncan's multiple range test, 5%.

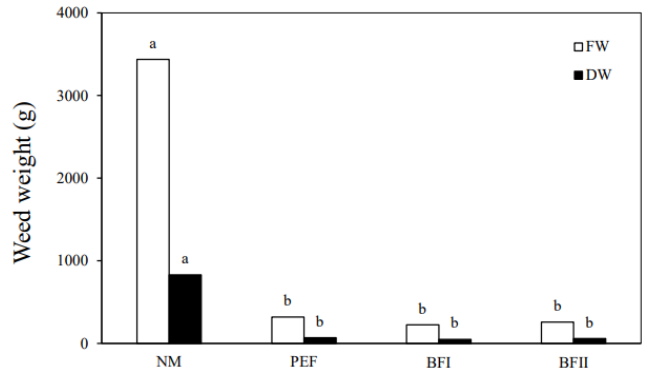


**Fig. 5.** Soil minimum moisture (panel A), soil maximum moisture (panel B), soil minimum temperature (panel C), and soil maximum temperature (panel D) in an onion field as affected by applications of non-mulching (NM), polyethylene film (PEF), biodegradable film I (BF I), and biodegradable film II (BF II), Gumi, February, 2023.

**생분해성 멀칭필름 처리에 따른 토양 환경 변화**

2월에 토양수분함량을 측정한 결과, 모든 처리구에서 포장용수량 수준이 관찰되었다. 하지만 NM 처리구에서 -14 kPa에서 포화수분인 0 kPa까지 토양수분함량의 변동 폭이 심했는데, 이는 외부 환경인 강수량에 영향을 받았기 때문으로 판단되었다(Fig. 5A and B). 토양 최소온도는 BFI 처리구에서 가장 높았고, 모든 처리구에서 1°C 이상을 유지하였다. 토양 최대온도는 NM 처리구에서 가장 낮아서 멀칭처리로 인하여 동계 지온 상승효과에 영향을 끼쳤던 것으로 판단되었다.

수확 전 시험구 내 잡초발생량을 조사한 결과, NM구에서 가장 많이 확인되었다(Fig. 6). 양파는 정식 후 월동하여 초여름에 수확되기 때문에 NM구에서는 생육중기까지 작물 주위에 잡초가 발생하면 제초를 해주었고, 후반기에는 발생량이 많았던 것으로 나타났다. 일부 생분해성 필름 멀칭 시험에서는 부직포 처리구가 생분해성 멀칭구 보다 비교적 낮은 잡초발생량을 보였는데(Lee *et al.*, 2015; Somanathan *et al.*, 2022; Yoon *et al.*, 2016), 특히 전분을 발효하여 biobase 함량이 100%인 PLA 등을 함유한 생분해 필름은 생육 후반기에 잘 찢어지는 경향이 있어서 높은 잡초발생량에 원인이 되었을 것으로 사료되었다(Yoon *et al.*, 2016). 이는 생분해성 필름 자재의 구성성분에 따라서 물리적인 특성인 인장강도,



**Fig. 6.** Weed fresh weight (FW) and dry weight (DW) in an onion field at 210 days after transplanting as affected by applications of non-mulching (NM), polyethylene film (PEF), biodegradable film I, and biodegradable film II, Gumi, 2022-2023. Means separation among the treatments among a column by Duncan's multiple range test, 5%.

인열강도, 신율 등의 차이가 자재의 분해 양상에도 영향을 끼치기 때문인 것으로 알려졌다(Han *et al.*, 2012; Kasirajan & Ngouajio, 2012; Lee *et al.*, 2009; RameshKumar *et al.*, 2000; Sintim *et al.*, 2019; Somanathan *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2022). 본 시험에서는 BF와 PE 자재의 처리에 따른 잡초 발생 억제에 차이가 관찰되지 않았으며, 감자

**Table 1.** Soil mineral nutrients, bulk density, and number of bacteria at 210 days after transplanting as affected by applications of non-mulching (NM), polyethylene film (PEF), biodegradable film I (BF I), and biodegradable film II (BF II), Gumi, May, 2023.

Treatment	pH (1:5)	EC (dS·m <sup>-1</sup> )	OM (%)	NO <sub>3</sub> -N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg·kg <sup>-1</sup> )	Ex. cation (cmol·kg <sup>-1</sup> )			Bulk density (Mg·m <sup>-3</sup> )	Bacteria (CFU·g <sup>-1</sup> )
						K <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>+</sup>		
NM	7.07 a <sup>1</sup>	0.13 a	3.72 a	0.0015 a	267.4 a	0.29 a	18.5 a	2.24 a	1.27 a	5.8×10 <sup>7</sup> a
PEF	7.09 a	0.13 a	3.45 b	0.0017 a	183.3 a	0.23 a	21.1 a	2.19 a	1.27 a	6.0×10 <sup>7</sup> a
BFI	7.13 a	0.17 a	3.49 ab	0.0018 a	252.1 a	0.24 a	19.3 a	2.14 a	1.26 a	5.8×10 <sup>7</sup> a
BFII	7.06 a	0.12 a	3.49 ab	0.0021 a	207.0 a	0.24 a	19.8 a	2.35 a	1.29 a	3.2×10 <sup>7</sup> a

<sup>1</sup>Different letters indicate statistically significance,  $p < 0.05$ .

와 토마토 작물 등의 생분해성 멀칭 연구에서도 비슷한 결과를 보고하였다(Cirujeda *et al.*, 2012; Shehata *et al.*, 2019).

토양 화학성인 pH, EC, 질산태질소, 유효인산, 다량 양이온함량은 처리 간에 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다(Table 1). 이와는 반대로, 생분해성 멀칭과 PE필름을 콩밭에 사용한 연구에서는 PE처리구에서 EC 및 질산태질소 수준이 높았는데, 이는 멀칭에 의해 강우가 차단되어 용탈되기 쉬운 질산염 등을 방지한 결과로 보고하였다(Moon *et al.*, 2016). 토양 유기물함량은 멀칭 처리구에서 비교적 낮게 나타났는데, 멀칭과 접한 토양 부분은 일반적으로 수분함량과 지온이 높아서 유기물의 분해가 진행된 결과로 추정되었다(Chen *et al.*, 2023; Sintim *et al.*, 2019). 많은 연구에서 생분해성 멀칭사용은 필름의 분해로 인하여 미생물 개체수 및 토양의 물리성이 증가하는 것으로 알려졌는데(Somanathan *et al.*, 2022), 본 시험에서는 토양 용적밀도 및 세균 개체수가 처리간에 유의적인 차이가 관찰되지 않았다. 옥수수 밭에 생분해성과 PE필름 멀칭 및 무멀칭과 비교한 연구에서도 미생물상의 차이가 없었는데, 다양한 환경요인에 영향을 받는 노지시험에서 1~2회의 시험결과로 미생물상의 차이를 비교하는 것은 한계가 있다고 하였고, 이에 장기간의 비교 시험이 필요할 것으로 판단되었다(Lim *et al.*, 1979; Lim *et al.*, 2016).

#### 생분해성 멀칭필름이 작물생육에 미치는 영향

양파를 뿌리 채 시료를 채취하여 생육상을 조사한 결과, 양파의 줄기 신장은 생육 초반에 처리 간에 차이가 없다가, 중후반기인 150일 차부터 PEF와 BFI에서 촉진되었다(Fig. 7A). 반면에 뿌리 신장은 생육 초기인 60일 차까지는 PEF와 BFI 처리에서 증가 폭이 무멀칭에 비해 크게 관찰되었고 이후 처리 간에 차이가 관찰되지 않았다(Fig. 7B). 엽수는 생육 초기에만 처리 간에 차이가 있었고(Fig. 7C), 엽 신선

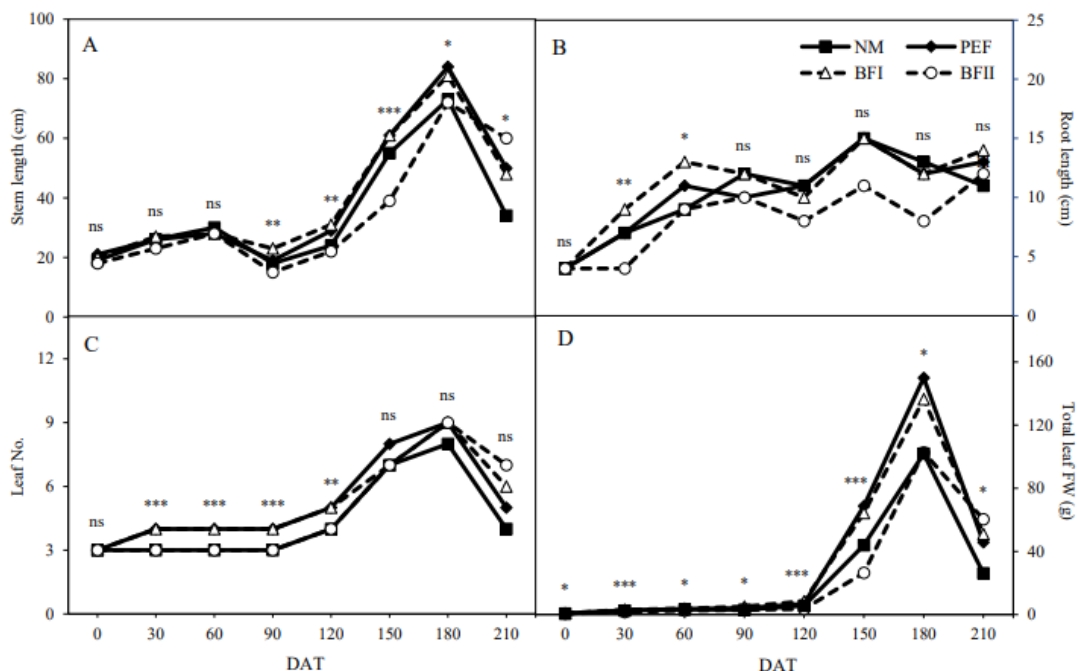
중은 시기에 상관없이 PEF와 BFI에서 높게 나타났다(Fig. 7D). 이는 PEF와 BFI 멀칭 처리로 동계기간 중 지온의 상승과 수분 보존, 잡초방제 등에 따른 무기염의 원활한 흡수 등으로 지하부 및 지상부의 생육 촉진 효과가 나타났던 것으로 판단되었다(Chen *et al.*, 2023; Kasirajan & Ngouajio, 2012; Somanathan *et al.*, 2022; Yoon *et al.*, 2016).

양파 구근의 직경 및 길이 신장은 120일 차 이후부터 모든 처리에서 많이 증가하였고 특히 PEF와 BFI 처리에서 높은 수준을 보였다(Fig. 8A and B). 구근의 L/D율은 시기가 지날수록 감소하였으며, 180일 차에 PEF 처리구에서 약 1.2수준으로 가장 원형에 가까워서 상품성이 높은 구근이 생산되었다(Fig. 8C). 처리에 상관없이 양파 크기의 증가는 구근의 무게에도 영향을 끼쳤으며, 가장 비대하였던 PEF와 BFI 처리 양파에서 생체중이 가장 높았다(Fig. 8D).

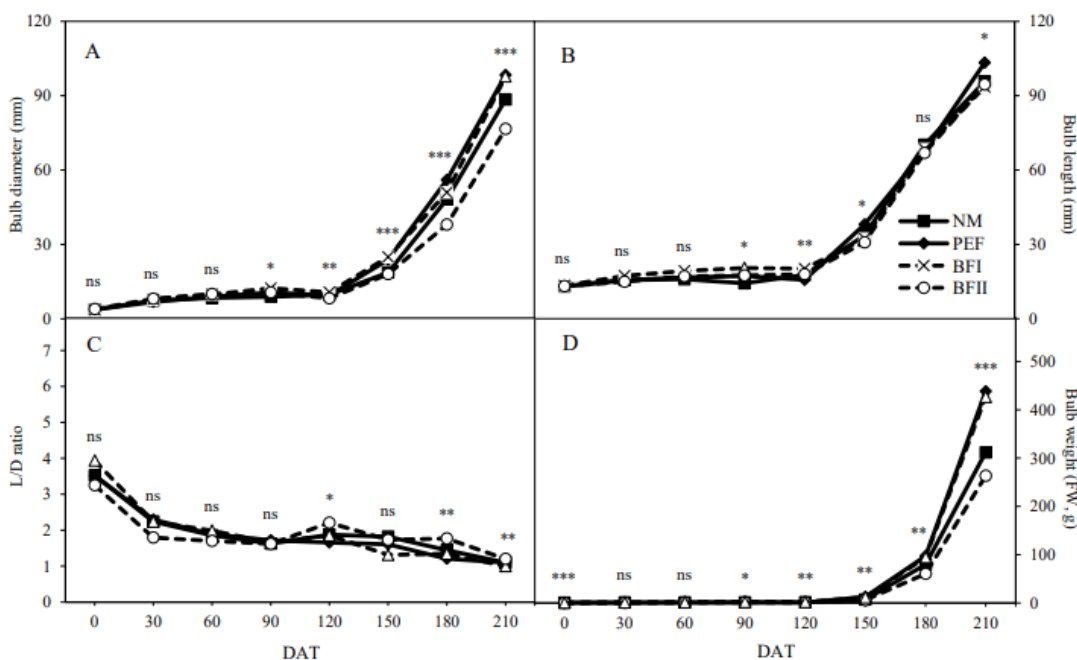
160일 차에 양파 추대율은 모든 처리구에서 3~5% 수준으로 통계적으로 유의적인 차이가 나타나지 않았다(Fig. 9). 양파의 추대는 파종 시기 및 육묘 기간, 그리고 정식기간의 이상 고온 및 품종 고유의 특성이 주요 요인이라고 하였는데(Min *et al.*, 2015; RDA, 2021), 본 토양멀칭 시험과는 연관성이 적은 것으로 판단되었다. 도복율은 PE와 BFI 처리구에서 높게 관찰되었는데, 이는 구의 비대가 촉진되면서 신엽의 발생이 감소하고 이에 따라 엽초 내의 공간 발생 및 엽무게 증가로 도복률이 많이 증가하였던 것으로 판단되었다(Brewster, 1990; Min *et al.*, 2015).

210일 차에 양파 구근을 크기별로 분류한 결과, 양파 “특”과 “대”의 수량은 BFI과 PE 처리구에서 분포도가 가장 높아 상품성이 향상된 것으로 사료되었다(Table 2). ha당 수량으로 환산하였을 때도, “특”은 BFI에서 55.3톤으로 가장 많았고 PE (49.3톤), NM (9.4톤), BFII (2.7톤) 순으로 높게 나타났다. “대”의 경우는 NM (63.6톤)>PE (50.9톤), BFII (50.6톤)>BFI (46.7톤) 순으로 관찰되었다. NM 처리





**Fig. 7.** Stem length (panel A), root length (panel B), number of leaf (panel C), and total leaf FW (panel D) of onion crops at 30 days interval from 0 to 210 days after transplanting (DAT) as affected by applications of non-mulching (NM), polyethylene film (PEF), biodegradable film I (BF I), and biodegradable film II (BF II), Gumi, 2022-2023. \*, \*\*, or \*\*\* indicate significantly difference among treatments for 30 days interval,  $p < 0.05$ , 0.01, or 0.001, respectively; ns, not significance.

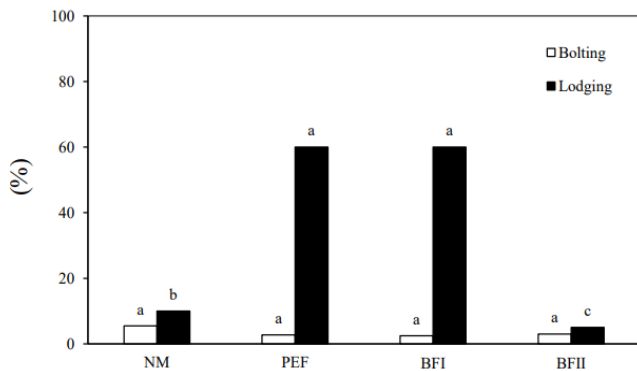


**Fig. 8.** Bulb diameter (panel A), bulb length (panel B), L/D ratio (panel C), and bulb weight (panel D) of onion crops at 30 days interval from 0 to 210 days after transplanting (DAT) as affected by applications of non-mulching (NM), polyethylene film (PEF), biodegradable film I (BF I), and biodegradable film II (BF II), Gumi, 2022-2023. \*, \*\*, or \*\*\* indicate significantly difference among treatments for 30 days interval,  $p < 0.05$ , 0.01, or 0.001, respectively; ns, not significance.

**Table 2.** Classification of four categories of bulb size at 240 days after transplanting as affected by applications of non-mulching (NM), polyethylene film (PEF), biodegradable film I (BF I), and biodegradable film II (BF II), Gumi, June, 2023.

Treatment	Small <3 cm	Medium 3-5 cm	Large 5-10 cm	Very large >10 cm	Sum
Number per ha					
NM	0 a <sup>1</sup>	0 b	250,500 a	19,500 b	270,000 a
PEF	0 a	0 b	164,250 b	105,750 a	270,000 a
BFI	0 a	0 b	153,000 b	117,000 a	270,000 a
BFII	0 a	9,750 a	224,250 a	6,000 b	240,000 b
Weight (ton) per ha					
NM	0.0 a	0.0 b	63.6 a	9.4 b	73.0 b
PEF	0.0 a	0.0 b	50.9 b	49.3 a	100.2 a
BFI	0.0 a	0.0 b	46.7 b	55.3 a	102.0 a
BFII	0.0 a	0.4 a	50.6 b	2.7 b	53.8 c

<sup>1</sup>Different letters indicate statistically significance,  $p < 0.05$ .



**Fig. 9.** Bolting and lodging (%) of onion crops at 160 days after transplanting (DAT) as affected by applications of non-mulching (NM), polyethylene film (PEF), biodegradable film I, and biodegradable film II, Gumi, 2023. Means separation among the treatments among a column by Duncan's multiple range test, 5%.

는 생육 중반까지의 잡초 관리와 월동 기간에 부직포로 보온 관리를 해줌으로써 BFI 처리와 비슷한 생산성을 보였던 것으로 판단되었다.

종합적으로 BFI과 PE멀칭 처리는 동계 지온 유지, 유기물의 분해 및 무기화로 양파의 영양생장을 촉진시켰다. 이는 잎의 광합성량 증대로 구근으로의 무기염과 동화산물의 전류량을 증가시켰고, 결과적으로 토양 내 잔존한 무기성분 함량은 무처리구와 비슷하였다. 특히 BFI 멀칭 처리구에서 양파의 수량 증가 및 상품성이 보다 향상되어 PE멀칭 자재의 대체제 이상의 역할이 기대되었다. 다만 양파를 채취한 후에 생분해성 멀칭필름이 토양에 환원되었을 때, 실

제 다양한 환경의 농업 현장에서 분해되기 어려운 PBAT 등의 성분이 잔존하여 후작물의 생장에 어떠한 영향을 끼치는지와 관련된 연구가 구명되어야 할 요소로 판단되었다.

### 적 요

농업 현장에서 많이 사용되고 있는 생분해성 멀칭필름 2종(BFI, BFII)이 토양환경과 동계작물인 양파(*Allium cepa* L.)의 생육과 수량에 미치는 영향을 무처리(NM)와 PE필름(PEF)과 비교하기 위하여 수행되었다.

1. 생분해 필름은 150일 차부터 필름 표면의 붕괴가 모두 육안상 관찰되었다.
2. BFII 자재 내 투광률은 150일 차부터 증가하였고, 180일 차 이후에는 중량 유지율이 90% 이하로 가장 낮게 나타났다, 경운 후 분해율도 가장 빨랐다.
3. 토양수분함량은 NM 처리구에서 -14 kPa~0 kPa까지 가장 변동 폭이 컸고 토양 최소온도는 BFI 처리구에서 가장 높게 유지되었다.
4. 토양 유기물 함량은 멀칭구에서 낮은 수준을 보였고, 토양 내 무기성분 및 용적밀도, 세균 수는 처리 간에 통계적으로 유의적인 차이가 나타나지 않았다.
5. 양파의 뿌리신장은 생육 초기인 60일 차까지는 PEF와 BFI 처리에서 증가 폭이 컸고 줄기는 150일 차부터 PEF와 BFI에서 가장 많이 신장되었다.
6. 180일 차에 양파의 직경과 길이 및 무게, 그리고 도복율도 PEF와 BFI에서 가장 높은 수준을 보였다.



7. 230일 차에 양파 구근을 크기별로 분류한 결과, 양파 “특”의 수량은 BFI 처리에서 ha당 55.3톤으로 가장 많아 상품성이 높았고, PE (49.3톤), NM (9.4톤), BFII (2.7톤) 순으로 조사되었다.

## 사 사

본 연구는 2023년 농촌진흥청 연구비 지원(과제명: 생분해성 멀칭필름의 작물 재배 효과 실증 및 개선사항 보완, PJ017034)으로 연구되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## 인용문헌(REFERENCES)

- Brewster, J. L. 1990. The influence of cultural and environmental factors on the time of maturity of bulb onion crops. *Acta Hort.* 267 : 289-296.
- Chen, B., J. Cui, W. Dong, and C. Yan. 2023. Effects of biodegradable plastic film on carbon footprint of crop production. *Agriculture* 13 : 816.
- Cirujeda, A., J. Aibar, Á. Anzalón, L. Martín-Closas, R. Meco, M. M. Moreno, A. Pardo, A. M. Pelacho, F. R. A. Royo-Esnal, M. L. Suso, and C. Zaragoza. 2012. Biodegradable mulch instead of polyethylene for weed control of processing tomato production. *Agron. Sustain. Dev.* 32 : 889-897.
- Han, S. I., H. W. Kang, K. C. Jang, W. D. Seo, J. E. Ra, S. H. Oh, H. U. Lee, M. N. Chung, and K. J. Choi. 2012. Studies on the bio-degradability and characteristics of mulching film. *Korean J. Crop Sci.* 57 : 99-105.
- Kasirajan, S. and M. Ngouajio. 2012. Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 32 : 501-529.
- KECO (Korea Environment Corporation). 2021. Survey of farming waste in 2020. KECO. Incheon. Korea. pp. 1-88.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2023. Annual climatological report. KMA, Seoul, Korea.
- Lee, J. H., M. J. Kim, H. L. Kim, Y. B. Kwack, J. K. Kwon, K. S. Park, H. G. Choi, and B. Khoshimkhujiev. 2015. Effects of biodegradable mulching film application on cultivation of garlic. *J. Bio-Env. Con.* 24 : 326-332.
- Lee, J. S., K. H. Jeong, H. S. Kim, J. J. Kim, Y. S. Song, and J. K. Bang. 2009. Bio-degradable plastic mulching in sweetpotato cultivation. *Korean J. Crop Sci.* 54 : 135-142.
- Lim, S. K., M. B. Lee, S. W. Kim, J. S. Kim, S. J. Heo, S. C. Choi, B. S. Yoon, and I. J. Kim. 2016. Effects of bio-degradable mulches on the yield of maize and the density of soil microbe. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49 : 375-380.
- 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.
- Min, B. G., S. Y. Lee, J. S. Moon, I. J. Ha, H. J. Hwang, and C. S. Lim. 2015. The comparison of growth and yield characteristics among principal bulb onion (*Allium Cepa* L.) cultivars in organic growing. *Korean J. Organic Agri.* 23 : 43-58.
- Moon, J. Y., J. K. Song, J. H. Shin, Y. C. Cho, J. W. Bae, J. Y. Heo, H. W. Kang, and Y. H. Lee. 2016. Effect of biodegradable mulch film on soil microbial community. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49 : 125-131.
- RameshKumar, S., P. Shaiju, K. E. O'Connor, and R. B. P. 2020. Bio-based and biodegradable polymers - State-of-the-art, challenges and emerging trends. *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.* 21 : 75-81.
- RDA (Rural Development Administration). 2003. Standard of research, survey, analysis in agricultural science and technology. RDA. Jeonju. Korea. pp. 1-838.
- RDA (Rural Development Administration). 2021. Guide of agricultural technology (Sweet Potato). RDA. Jeonju. Korea. pp. 1-232.
- Shehata, S. A., H. F. Abouziena, K. F. Abdelgawad, and F. A. Elkhawaga. 2019. Weed control efficacy, growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) as affected by alternative weed control methods. *Potato Res.* 62 : 139-155.
- Sintim, H., S. Bandopadhyay, M. E. English, and I. Bary. 2019. Impacts of biodegradable plastic mulches on soil health. *Agric. Ecosyst. Environ.* 273 : 36-49.
- 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 : 135839.
- KOSTAT (Statistics Korea). 2023. Survey of cultivation area of garlic and onion in 2023. KOSTAT. Daejeon. Korea. pp. 1-9.
- Yang, Y., P. Li, J. Jiao, Z. Yang, M. Lv, Y. Li, C. Zhou, C. Wang, Z. He, Y. Liu, and S. Song. 2020. Renewable sources biodegradable mulches and their environment impact. *Sci. Hortic.* 268 : 109375.
- Yoon, K. K., K. G. Moon, S. U. Kim, I. S. Um, Y. S. Cho, Y. G. Kim, and I. R. Rho. 2016. Analysis of growth and antioxidant compounds in deodeok in response to mulching materials. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 24 : 183-190.
- You, Y. S., Y. S. Oh, S. H. Hong, and S. W. Choi. 2015. International trends in development, commercialization and market of bio-plastics. *Clean Technol.* 21 : 141-152.
- Zhang, Y., W. Gao, A. Mo, J. Jiang, and D. He. 2022. Degradation of polylactic acid/polybutylene adipate films in different ratios and the response of bacterial community in soil environments. *Environ. Pollut.* 313 : 120167.