

어젠다코드	1 - 1 - 1		구분	완결	
기술분야코드	V3	기술유형코드	E02	작목구분코드	EE-04-EE4Z
과제종류	공동연구		세세부사업		
연구과제 및 세부과제			수행기간	소속	과제책임자
토양 및 환경오염 방지를 위한 다기능 생분해성 농업용 친환경 멀칭필름 개발 및 적용기술 개발			'14~'16	일신화학(주)	박광익
생분해성 멀칭필름 작물 적용시험			'14~'16	환경농업연구과	임수정
색인용어	생분해 필름, 고추, 양파, 옥수수, 곰취, 고구마, 야콘				

ABSTRACT

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 of bio-degradable films in terms of yield of pepper, onion, maize, ragwort, sweet potato, yacon and soil environment. Mulch treatments were bio-degradable film A(BDF A), bio-degradable film B(BDF B), high density polyethylene (HDPE), non-mulched(NM) soil. Daily mean values of soil temperature(10cm depth) under BDF A, BDF B, HDPE were 2.1, 2.8 3.0°C higher than in NM soil respectively. In the mulching cultivation of maize, bio-degradable film began to degrade after 50~60days from the planting. the degradation was much progressed in the harvest time and almost decomposed in the following spring. The yields of each crop were slightly different and could be applied to maize, yacon, and sweet potato There were little changes of soil chemical properties due to the bio-degradable film mulching. After using bio-degradable films, the contents of biomass-C and dehydrogenase were increased from 92 to 137~147 mg/kg, from 87 to 123~168 mg/kg respectively.

1. 연구목표

멀칭은 농작물 재배 시 잡초방제를 위하여 널리 이용되는 농자재다. 우리나라에서는 1980년 이전까지만 해도 벚짚 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 작물

수량 증수에 효과가 있다고 하였다(Schalk and Robbins, 1987). 그러나 비닐피복재배는 이러한 장점 외에 몇 가지 문제점을 안고 있다. 작물을 폴리에틸렌 필름으로 멀칭 하여 재배할 경우 수확 작업 후 비닐을 걷어야 하는데, 이때 흙속에 묻혀있거나 토양표면에 엉켜 붙은 비닐을 수거하는데 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 34만톤 이었으며, 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 지출하는 실정이다. 폴리에틸렌 필름은 소각이나 매립할 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 환경친화적이고 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 인정되지만, 완전한 생분해성의 의미로 볼 수는 없으며, 분해가 되지 않은 플라스틱은 토양 혹은 그 주변에서 오염물질로 작용할 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 농촌환경 오염의 원인이 되고있는 폐비닐 처리 등의 문제를 해결하기 위해 최근 개발된 생분해성 필름을 사용하여 고추, 양파, 옥수수, 곰취, 야콘, 고구마의 생육과 수량에 미치는 영향과 환경에 대한 안전성을 구명하고, 피복재료로의 이용 가능성을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

본 시험은 시험1~5로 구성하여 실시하였다. 작목별로 시험장소와 처리내용은 표 1과 같다. 시험 1~4는 2014~2015년 수행 하였으며, 시험 5는 2016년에 실시하였다.

표 1. 작목별 시험장소 및 처리내용.

구분	시험 1	시험 2	시험 3	시험 4	시험 5
작목(장소)	고추(춘천)	양파(평창)	옥수수(춘천) 옥수수 현장실증(영월)	곰취(평창)	아콘·고구마(춘천)
처리내용	생분해필름(1·2), 관행(HDPE), 무피복				생분해필름 2, 관행(HDPE), 무피복

고추의 재식거리는 70×40cm, 품종은 남자의 자격, 정식은 5월 16일(1년차), 4월 28일(2년차) 수행하였다. 양파의 경우 재식거리는 20×15cm, 품종은 춘불, 정식은 5월 15일('14~'15) 수행하였다. 옥수수의 재식거리는 70×30cm, 품종은 미백2호, 파종은 1년차, 2년차 모두 4월 24일, 수확은 7월 21일 실시하였다. 다년생 작물인 산채류인 곰취의 경우 2회에 걸쳐 반복시험을 수행하였는데, 재식거리는 20×30cm, 품종은 자생수집종으로 하였다. 1차 노지포장에서 2014년 5월 15일 128구 트레이묘를 정식하고 무차광 재배하였으며, 고온장해로 인한 생육불량으로 인해 2차 시험은 해가림 시설로 장소를 변경하여 2014년 9월 19일 분주묘를 가을정식하고 이듬해 5월부터 10월까지 생육기간중 35%차광망을 설치하여 재배하였는데 2차 시험에서 월동후 년차별로 4회씩 1.2m²면적에서 20주를 대상으로 지상부 잎의 수량성을 조사하였다. 농촌의 고령화로 인한 노동력의 부족으로 생분해 필름의 요구에 따라 영월군 주천면 용석리 옥수수 보급종 생산단지에서 생분해필름의 농가 실증을 수행하였다.

작목별 시험 전 토양의 화학성은 표 2와 같다. 토양산도(pH)는 6.7~7.2의 범위 였으며, 전기전도도(EC)는 0.06~0.12dS/m, 토양유기물(OM)은 6.5~21.5g/kg, 가용성 인산은 128~325mg/kg, 치환성 양이온인 칼륨(K), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg)는 각각 0.1~0.8, 5.0~8.7, 1.1~2.2 cmol⁺/kg 범위 였다. 고추와 옥수수, 야콘과 고구마는 같은 포장으로 시험전 토양을 고루섞어 시료를 채취하여 시험 전 토양의 화학성 값이 각각 같았다. 작목별 비료량은 농촌진흥청의 기준에 의해 산출하여 시비하였다.

표 2. 주요 작목의 시험 전 토양의 화학적 성질.

작목	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. cation (cmol ⁺ /kg)		
					K	Ca	Mg
고추·옥수수	7.2	0.10	11.5	128	0.4	5.0	1.2
양파	6.7	0.06	6.5	170	0.1	5.0	1.1
곰취	6.7	0.12	6.5	170	0.5	8.7	1.7
아콘·고구마	7.0	0.11	21.5	325	0.8	6.8	2.2

시험에 사용한 생분해필름은 지방족 폴리에스터(PBSA, Polybutylene-co-adipate terephthalate)에 PLA (Poly lactic acid)와 변성전분(Theomo Plastic Starch)을 혼합, 생육이 3개월 내에 재배가 끝나는 작물을 대상으로한 생분해 1과 3개월 이후에 재배가 끝나는 작물에 적용하는 생분해 2, 그 외 관행(HDPE)구와 무멀칭구를 두었으며, 시험구는 난괴법 3반복으로 배치하였고, 시험구의

제초는 파종(정식) 후 30일 1회 실시하였다. 작물의 생육 및 수량은 농촌진흥법 표준조사법에 준하였고(RDA, 2003), 결과 값의 통계분석은 SAS(9.2)를 사용하여 Duncan의 다중검정을 실시하였다.

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 조사(옥수수)를 위하여 온도센서를 처리별 두둑의 토층 10cm에 매설하고 데이터 로거를 이용하여 2시간 간격으로 측정하였다.

토양은 음건하여 2 mm 체에 통과된 것을 화학성분 분석에 사용하였다. 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 CH₃COONH₄ (pH 7.0)로 추출, 유도결합플라즈마분광광도계(GBC, Inductively Coupled Plasma, Victoria Australia)로 측정하였다.

토양미생물상 조사(옥수수)용 시료는 수확 후 채취하여 분석하였다. 세균은 NA 배지를 사용하여 분리하였고, 사상균은 Rose bangal 한천배지, 방선균은 전분 Casein 한천배지를 각각 사용하였다. 각각의 배지에 토양희석액을 도말한 후 세균, 사상균, 방선균을 25℃에서 3일간 배양 후 조사하였고, Microbial biomass C는 토양시료를 클로로포름으로 혼중하여 0.5 M K₂SO₄ 용액으로 분해하고 황산제1철암모늄 용액으로 적정하였다. 탈수소효소(Dehydrogenase) 활성도 측정은 CaCO₃와 3% TLC(2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride)용액을 혼합한 후 여과하여 UV/Vis Spectrophotometer로 485 nm에서 흡광도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

(시험 1) 고추에 대한 생분해성 멀칭필름 실증시험

표 3은 고추의 생육시기별 멀칭필름의 육안 분해도와 수확기 중량 감소분을 나타내고 있다. 생분해 필름은 멀칭 후 50~60일 정도부터 두둑 측면과 정식구멍에서 분해가 시작되는 것을 확인 할 수 있었다. 수확기 중량감소분에 의한 분해율은 생분해 1이 60%로 가장 높았고, 생분해 2, 관행 순이었다.

표 3. 고추의 생육시기별 멀칭필름의 분해도.

구 분	육안 분해 개시기 (정식후, 일)	분해도(육안, %)		중량감소분 (수확기, %)
		생육중기(7.16)	수확기(10.17)	
생분해 1	50	5 미만	70	60
생분해 2	60	5 미만	65	55
관행	-	-	-	1

고추의 수확기 생육은 표 4와 같다. 고추의 초장은 무멀칭구를 제외하고 통계적으로 유의적인 차이가 없었고, 그 외 경경, 과장, 과경도 같은 경향 이었다.

표 4. 수확기 고추의 생육.

구 분	초장(cm)	경경(mm)	과장(cm)	과경(mm)
생분해 1	99 a [†]	13.7 a	12.3 a	22.2 a
생분해 2	97 a	13.6 a	12.0 a	22.3 a
관행	101 a	13.5 a	12.1 a	22.3 a
무멀칭	87 b	12.5 b	10.9 b	20.5 b

[†] : DMRT(0.05)

그림 1은 고추의 처리별 수량을 보여주고 있다. 모든 처리에서 첫 수확부터 2차, 3차 수확까지 수확량이 증가하다, 4차 수확부터 수량이 줄었다. 전체수량은 관행 > 생분해 1 > 생분해 2 > 무멀칭 순이었으나, 무멀칭을 제외하고 통계적인 차이는 없었다.

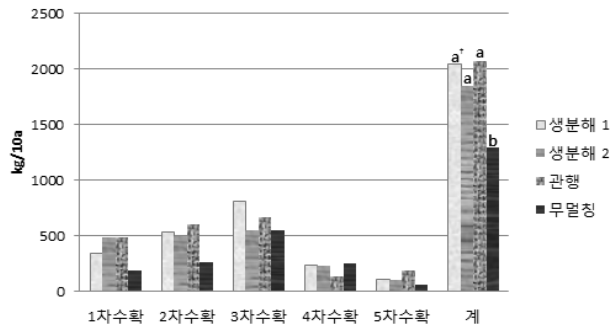


그림 1. 처리별 고추의 수량.

[†] : DMRT(0.05)

그림 2는 고추 수확 후 관행필름과, 생분해필름의 분해정도를 보여주고 있다. 관행필름은 수확 후에도 원형이 거의 그대로 유지 되어있어서 재활용의 가능성은 있으나 수거율이 현실적으로 10%에 머물러 오염원이 될 수 있다. 생분해필름은 그림 2 에서 보듯이 작기 후 거의 분해되어있다. 고추는 4월말~5월중순 정식하여 10월중순까지 재배하는 비교적 생육기간이 긴 작물이다. 또한 생육기간과 수확시기가 겹쳐 있어 사람의 발길이 잦아 비닐훼손이 쉽고, 재배 후 경운 전 고추 지주대를 제거해야하는 농작업상의 이유로 생분해 필름을 권장하기는 이른 듯 하다.



그림 2. 고추수확 후 관행필름과 생분해성 분해 비교.

고추 시험전·후 토양의 화학성은 표 5와 같다. pH와 EC, K, Mg은 통계적으로 시험전과 차이가 없었다. 토양유기물과 칼슘은 처리별로 약간의 차이가 있었지만, 멀칭종류에 의한 결과로 보이진 않았다. Lim et al.(1979)이 1~2회의 토양실험에서 기대한 결과를 얻기는 힘들다는 보고하였는데, 추후 멀칭 종류에 따른 토양 내 공기유통, 빗물에 의한 양분의 유실 등을 고려하여 면밀한 검토가 필요 할 것으로 본다.

표 5. 고추 시험전·후 토양의 화학성 비교.

구 분	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Ca	K cmol+/kg	Mg	P ₂ O ₅ (mg/kg)
생분해 1	7.0 a [†]	0.12 a	11.2 a	4.5 b	0.3 a	1.0 a	223 ab
생분해 2	7.0 a	0.09 a	6.0 a	3.6 b	0.3 a	1.1 a	245 a
관행	6.8 a	0.09 a	7.3 b	4.0 ab	0.3 a	1.0 a	195 b
무멀칭	6.9 a	0.07 a	11.8 b	4.4 ab	0.4 a	1.3 a	206 b
시험전	7.2 a	0.10 a	11.5 b	5.0 a	0.4 a	1.2 a	128 c

† : DMRT(0.05)

(시험 2) 양파에 대한 생분해성 멀칭필름 실증시험

표 6은 양파의 생육시기별 멀칭필름의 육안 분해도와 수확기 중량 감소분을 나타내고 있다. 고추와 마찬가지로 생분해필름은 멀칭 후 50~60일 정도부터 두둑 측면과 정식구멍에서 분해가 시작되었고, 수확기 중량감소분에 의한 분해율은 생분해 1이 50%로 높았고, 생분해 2, 관행 순이었다. 평지에서 재배한 고추보다 약간 덜 분해되는 양상이었는데, 이는 시험지역이 평창으로 온도가 고추 시험지 보다 낮고, 수확시기가 한 달 정도 빨랐기 때문인 것으로 생각된다.

표 6. 양파의 생육시기별 멀칭필름의 분해도.

구 분	육안 분해 개시기 (정식후, 일)	분해도(육안, %)		중량감소분 (수확기, %)
		생육중기(7.16)	수확기(9.20)	
생분해 1	50	5 미만	60	50
생분해 2	60	5 미만	55	45
관행	-	-	-	1

양파의 수확기 생육은 표 7과 같다. 양파의 구고, 구폭, 겹수는 무멀칭구를 제외하고 통계적 차이는 없었다. 수량을 결정하는 구중의 경우 생분해 1구가 193g/개로 가장 무거웠고, 수량은 생분해 필름 멀칭구 > 관행 멀칭구 > 무멀칭구 순이었다. 8월 이후 생분해필름 멀칭구의 분해에 따른 낮과 밤의 지온차이에 의해 양파의 인경이 비대된 것으로 추정된다.

표 7. 수확기 양파의 생육상황.

처 리	구고 (mm)	구폭 (mm)	겹수 (개)	구중 (g/개)	결주율 (%)	수량 (kg/10a)
생분해 1	66 a [†]	72 a	8.5 a	193 a	7.5 a	5,177 a
생분해 2	63 a	71 a	8.2 a	187 ab	7.5 a	5,016 a
관행	65 a	72 a	8.5 a	185 ab	7.4 a	4,968 ab
무멀칭	56 b	67 b	8.5 b	152 b	15.2 b	3,748 b

[†] : DMRT(0.05)

표 8은 양파 시험전·후 토양의 화학성을 보여주고 있다. pH는 처리와 관계없이 전체적으로 시험전 6.7보다 높아지는 경향이었으나, 멀칭에 의하기 보다는 토양수분 변동에 따른 산, 염기물 질의 이동에 따른 것으로 추정되며, 주기적인 관찰이 필요 할 것으로 생각된다. EC는 거의 변화가 없었으며, 양이온은 약간 감소하거나 같았고, 인산은 고추 시험과 같이 토양인산 고유특성에 따라 시험전보다 1.4배 이상 높아졌다.

표 8. 양파 시험전·후 토양의 화학성 비교.

처 리	pH	EC	OM	Ca	K	Mg	P ₂ O ₅
	(1:5)	(dS/m)	(g/kg)	cmol+/kg			(mg/kg)
생분해 1	6.9 a	0.07 a	6.9 b	4.7 a	0.1 a	1.2 a	254 b
생분해 2	6.9 a	0.08 a	6.9 b	4.9 a	0.1 a	1.1 a	246 b
관행	7.0 a	0.07 a	7.3 a	4.8 a	0.1 a	1.2 a	321 a
무멀칭	7.1 a	0.07 a	6.8 b	4.5 b	0.1 a	1.1 a	255 b
시험전	6.7 b	0.06 a	6.5 c	5.0 a	0.1 a	1.1 a	170 c

[†] : DMRT(0.05)

(시험 3) 옥수수에 대한 생분해성 멀칭필름 실증시험

그림 3은 옥수수 작기 중 토양 지중 10 cm 부분의 평균지온을 나타냈다. 생육기 동안 일평균 지온의 합은 관행구 에서 1,711℃로 가장 높았고, 생분해 2구는 1,690℃, 생분해 1구는 1,649℃ 무멀칭구는 1,497℃ 순이었다. Yun et al.(2011)은 5월초부터 6월말까지 일평균 지온이 관행구가 무멀칭구 보다 2℃ 높다고 보고 하였는데, 본 시험에서도 관행구의 일평균 지온이 무멀칭구 보다 3.1℃ 높았고, 생분해 1구와 생분해 2구 또한 무멀칭구 보다 각각 2.2℃, 2.8℃ 높게 조사되었다.

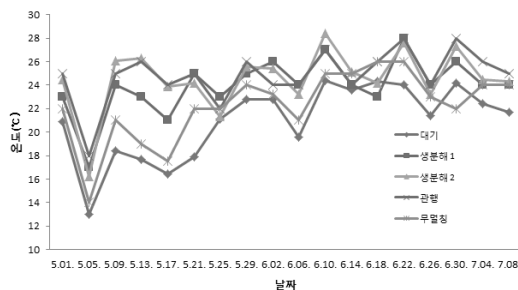


표 9는 옥수수의 생육시기별 멀칭필름의 육안 분해도와 수확기 중량 감소분을 나타내고 있다. 생분해 1구는 파종 후 50일, 생분해 2구는 파종 후 60일경부터 두둑 측면과 파종구멍에서 분해가 시작되었다. 파종 후 50~60일 정도일 때 생분해성 필름이 분해되어도 옥수수의 지상부가 번무하여 잡초발생이 억제되었다. 수확기 중량감소분에 의한 분해율은 생분해 1구가 30%로 높았고, 생분해 2구는 25%, 관행구는 1% 였다.

표 9. 옥수수의 생육시기별 멀칭필름의 분해도.

구분	육안분해 개시기 (파종후, 일)	분해도(육안, %)		중량감소분 (수확기, %)
		생육중기 (6.24.)	수확기 (7.21.)	
생분해 1	50	7	35	30
생분해 2	60	5	30	25
관행	-	-	-	1

그림 4는 시기별 생분해필름과 관행필름의 분해정도를 보여주고 있다. 60×40×10 cm 사각 포트에 토양을 충전, 관행과 생분해 2로 멀칭한 후 주기적으로 관수하고 생분해필름의 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 생분해필름이 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 거의 분해되었고(③), Lee et al. (2009)의 연구결과와 같은 경향이였다.

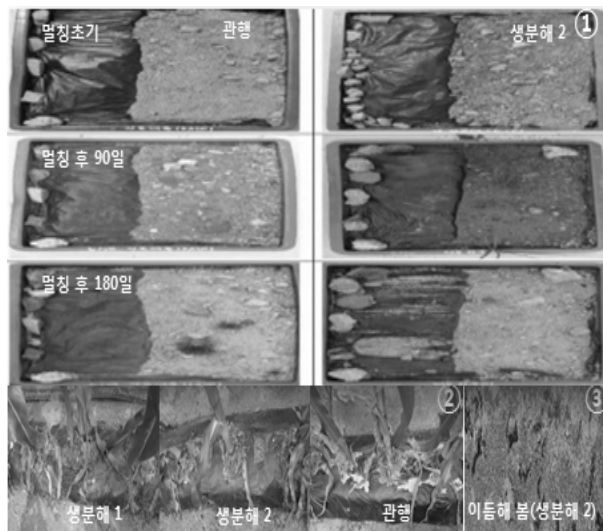


그림 4. 시기별 생분해 필름 분해정도

옥수수의 수확기 생육은 표 10과 같다. 간장은 생분해 2 처리가 195 cm로 가장 컸고, 관행구 > 생분해 1구 > 무멀칭구 순이었으나 무멀칭구를 제외하고 통계적 유의성은 없었다. 이삭장, 이삭폭, 착립장, 이삭열수, 열당립수도 처리간 통계적 유의성은 없어, 생분해필름으로 멀칭하면 관행필름과의 생육 차이는 없을 것으로 생각된다.

표 10. 수확기 옥수수의 생육 및 수량.

구분	간장(cm)	이삭장(cm)	이삭폭(cm)	착립장(cm)	이삭열수(열)	열당립수 (립)
생분해 1	192 a [†]	20.6 a	43.6 a	19.0 a	14.6 a	37.6 a
생분해 2	195 a	20.7 a	43.2 a	19.3 a	14.8 a	37.8 a
관행	193 a	20.8 a	42.5 a	19.5 a	14.2 a	38.5 a
무멀칭	181 b	21.2 a	41.7 a	18.5 a	14.7 a	36.2 a

[†] : DMRT(0.05)

그림 5는 멀칭처리별 옥수수의 이삭중을 보여주고 있다. 생분해 2 처리의 개체당 이삭중은 195g으로 가장 무거웠고, 관행구 > 생분해 1구 > 무멀칭 구 순이었다. 무멀칭구를 제외하고 통계적 유의성은 없었으며, Lee et al.(2009)의 결과와 같은 경향이였다. 지온 상승은 뿌리의 활성증진에 의해 작물의 생산량을 증가 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 관행구의 일평균 지온은 생분해 2구보다 0.35℃ 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, 생분해 필름을 사용할 때 옥수수의 목표 수량을 얻는데 불리한 점은 없는 것으로 판단된다.

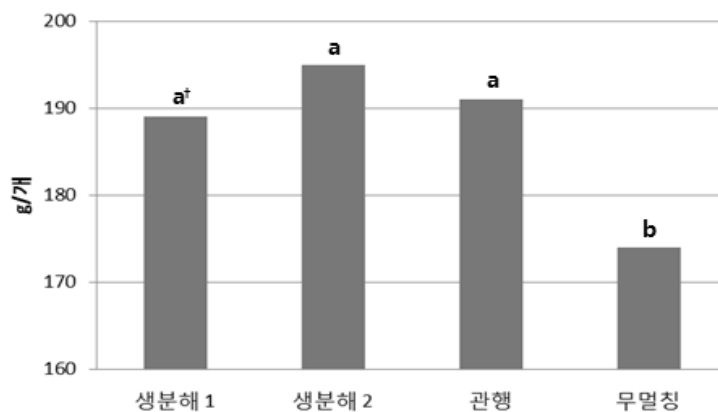


그림 5. 멀칭 처리별 옥수수의 이삭중 비교.

[†] : DMRT(0.05)

옥수수를 재배한 후 토양의 화학성은 표 11과 같다. pH는 6.5~7.0, EC 0.12~0.17 dS/m, 유기물 16.5~21.2 g/kg, 인산 256~383 mg/kg 등으로 차이의 폭은 적었다. 시험 전 토양이 척박하여 비료사용처방서에 따라 비료를 처리하여 EC와 유기물함량은 시험 전 보다 약간 높아졌다. 칼리, 마그네슘도 같은 경향이였다. 칼슘은 석회사용량이 없어 작물체가 흡수하는 감소 요인만 있었으나, 처리 간 약간의 차이는 있었다. 생분해필름 사용으로 인한 토양의 큰 변화는 없는 것으로 판단된다.

표 11. 옥수수 수확 후 토양의 화학성비교.

구분	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	K	Ca	Mg
					cmol+/kg		
생분해 1	7.0 a [†]	0.17 a	21.2 a	383 a	1.0 a	5.2 ab	1.3 b
생분해 2	7.0 a	0.15 a	17.5 b	313 b	1.0 a	4.6 b	1.4 b
관행	6.5 b	0.15 a	16.5 b	263 c	1.1 a	6.8 a	2.1 a
무멀칭	6.8 ab	0.12 b	17.0 b	256 c	0.9 a	4.6 b	0.9 c
시험전	7.2 a	0.10 b	11.5 c	128 d	0.4 b	5.0 ab	1.2 b

[†] : DMRT(0.05)

멀칭처리별 토양 미생물상 변화는 표 12와 같다. 생분해필름이 분해되면 탄소가 잔류되어 일반적으로 미생물체량이 많아질 것으로 예상 했으나, 세균은 0.3~1.1×10⁷CFU /soil g이었고, 관행구와 무멀칭구에서 각각 1.0×10⁷, 1.1×10⁷ CFU/soil g로 생분해필름구 보다 3배 가량 높았다. 이는 미생물체량은 유기물질이 많을수록 높아진다는 보고(Lee and Ha, 2011, Kim et al., 2012)와 다른 결과였는데 방선균은 생분해 1구가 0.9×10⁷ CFU/soil g로 가장 많았다. 사상균은 처리구별로 2.2~5.6×10³ CFU/soil g 으로 관행구 > 생분해 1구 > 생분해 2구 = 무멀칭구 순이었으나, 위에서 언급한 바와 같이 한 요인에 의한 결과로 생각되지는 않는다. 토양미생물을 대표하는 정량적 지표인 Biomass C함량은 99~147 mg/kg 범위로 생분해 2구 > 생분해1구 > 관행구 > 무멀칭 구 순이었고, 멀칭필름 처리 간 통계적 유의성은 없었다. 토양생태계의 건전성 지표로 이용되고 있는 Dehydrogenase 활성은 생분해 2 처리구가 168 mg/kg으로 가장 높았고 관행구와 유의적인 차이를 보였다.

표 12. 처리별 옥수수 재배 후 토양미생물상 분포.

구분	Bacteria	Actinomycetes	Fungi	Biomass C	Dehydrogenase
	(×10 ⁷)	(×10 ⁷)	(×10 ³)	mg kg ⁻¹	
—————CFU soil g ⁻¹ —————					
생분해 1	0.3 b [†]	0.9 a	3.2 b	137 a	123 ab
생분해 2	0.3 b	0.1 b	2.2 c	147 a	168 a
관행	1.0 a	0.1 b	5.6 a	127 a	85 b
무멀칭	1.1 a	0.4 b	2.2 c	99 b	81 b
시험 전	0.9 a	0.1 b	2.4 c	92 b	87 b

[†] : DMRT(0.05)

그림 6은 영월군 주천면 용석리 옥수수 보급종 생산단지에서 수행한 현장평가회 광경이다(16. 9. 8.). 옥수수는 부정근이 발달하여 멀칭필름 제거에 많은 노동력이 필요로 하고, 보급종 생산을 할 때에는 가을에 멀칭필름을 제거하고 경운을 하여야 수확되지 않은 옥수수가 늦여름~가을에 발아하여 월동을 하지 못하고 죽게되어 이듬해 순도 높은 종자를 생산하는데 유리하다. 따라서 생분해 필름은 옥수수 보급종 생산시에 아주 적합한 농자재로 생각된다. 생분해필름을 써보지 않은 농가와 정책부서(관련농업기관) 등과 함께 옥수수와 멀칭필름을 제거하지 않은 상태에서의 작업광경을 시연하였다.



그림 6 . 옥수수 보급종 생산단지 현장평가회.

(시험 4) 곰취에 대한 생분해성 멀칭필름 실증시험

곰취 수확엽의 생육은 표 13과 같다. 엽병장은 관행구 > 생분해 1구 > 생분해 2구 > 무멀칭구 순으로 컷으며, 엽중도 관행구 > 생분해 1구 > 생분해 2구 > 무멀칭구 순 이었으나, 관행필름과 생분해필름간 차이는 미미하였다.

표 13. 곰취 수확엽 엽병장 및 엽중.

처 리	엽병장(cm)	엽중(g)
생분해 1	33.2 ± 3.2	5.0 ± 0.25
생분해 2	31.3 ± 3.7	5.0 ± 0.10
관행	35.3 ± 4.1	5.1 ± 0.19
무멀칭	26.0 ± 4.4	4.5 ± 0.27

※ 조사일자 : 2015. 5. 25.

년차별로 각 4회에 걸친 수량성 검정 결과는 표14와 같으며, 수확량의 총합계는 그림 7, 8과 같다. 관행필름에 비해 상대적으로 수량성이 낮았는데 이는 조기 분해로 인해 잡초다발, 수분 보유력 저하 등이 주요 원인으로 판단되며, 무멀칭에 비해서는 상대적으로 높아서 어느 정도 피복효과는 유지하는 것으로 확인되었다. 하지만 곰취와 같은 장기 식물의 경우 제초관리 등의 어려움이 있고 재배직후 포장 로터리 작업에 의한 분쇄과정이 단기 작물처럼 없어 생분해필름의 실용화에 문제가 있을 것으로 판단된다.

표 14. 년차별 곰취 수량성 검정.

(생체중, g/1.2m²)

수확 년도	구분	1회차		2회차		3회차		4회차	
		무게	엽수	무게	엽수	무게	엽수	무게	엽수
2015년	생분해 1	75.3	16.3	135.0	26.7	81.3	15.0	57.3	11.7
	생분해 2	82.3	16.3	154.7	31.3	78.3	15.7	51.3	10.3
	관행	100.3	18.3	212.3	44.3	162.7	30.3	88.3	17.3
	무멀칭	17.7	5.3	48.3	10.7	61.7	12.0	39.0	11.7
2016년	생분해 1	95.7	20.0	205.7	45.7	115.3	26.3	96.3	20.0
	생분해 2	104.7	21.3	203.7	43.3	126.0	27.3	87.7	18.0
	관행	103.7	21.3	247.3	51.7	209.7	44.7	122.3	25.7
	무멀칭	40.7	8.7	94.3	21.3	94.3	21.3	88.0	18.7

※ 2차 재시험 가을정식('14. 9월)후 2015~2016년 년차별 수량 조사(1.2m², 20주 대상)

- 2015년 : 5. 15., 5. 31., 6. 15., 6. 28. 4회

- 2016년 : 5. 6., 5.16., 5.28., 6.10. 4회

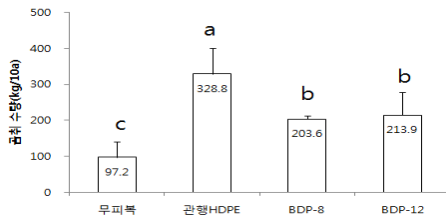


그림 7. 2015년 곰취 수량

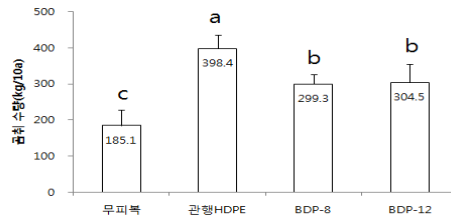


그림 8. 2016년 곰취 수량

시험전후 시기별 토양화학적성은 표 15와 같다. 필름 처리간에 토양화학적성은 큰 차이가 없어, 생분해 필름에 의한 토양의 변동은 없는 것으로 판단된다.

표 15. 곰취 해가림 시설재배(2차) 시험전후 토양화학적성.

조사시기 및 처리구	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Ca	K	Mg	P ₂ O ₅ (mg/kg)
				(cmol+/kg)			
시험전('14. 9)	6.9	0.18	23.6	6.2	0.48	1.33	632
곰취 수확후('15. 7.)							
생분해 1	7.1	0.23	26.0	6.9	0.53	1.39	667
생분해 2	6.8	0.38	25.1	7.2	0.53	1.47	742
관행	7.1	0.29	24.3	7.3	0.52	1.43	767
무멀칭	7.0	0.38	27.2	7.5	0.56	1.49	761
곰취 월동전('15. 11.)							
생분해 1	7.2	0.25	20.5	7.1	0.56	1.27	637
생분해 2	7.0	0.57	20.4	7.1	0.58	1.26	709
관행	6.7	0.51	23.5	7.1	0.59	1.32	789
무멀칭	7.1	0.52	24.2	6.8	0.53	1.30	716
곰취 수확후('16. 6.)							
생분해 1	6.8	0.18	18.6	6.5	0.48	1.15	586
생분해 2	6.9	0.28	18.5	6.3	0.50	1.16	626
관행	6.7	0.29	21.4	6.5	0.51	1.12	701
무멀칭	7.0	0.33	22.2	6.4	0.48	1.20	686

(시험 5) 고구마·야콘에 대한 생분해성 멀칭필름 실증시험

생육중기 관행구의 고구마 괴근중이 2,892kg/10a로 가장 많았고(표 16), 수확기 수량은 생분해 필름구가 가장 높았다(표 17). 야콘의 경우도 생육중기 수량은 관행구가 722kg/10a로 높았으나(표 18) 수확기에는 생분해 필름구의 수량이 가장 높았다(표 19). 보통 뿌리작물은 낮과 밤의 온도 차이가 많을 때 낮에 생성된 대사산물이 뿌리로 이행되어 근비대가 촉진되는데(Doo *et al.*, 1999) 생분해 필름의 경우 9월이면 50% 이상이 분해되어 공기의 토양내 침투로 밤의 지중온도가 관행 필름구 보다 낮았기 때문인 것으로 생각되어 구근식물에 대하여 생분해필름의 활용도가 높을 것으로 생각된다.

표 16. 고구마 중간생육(9월 1일)

구분	생분해	무피복	관행
괴근중(kg/10a)	2,808 ab	2,128 c	2,892 a

표 17. 고구마 수확기 생육 및 수량('15~'16)

구분	만장 (cm)	분지수 (개)	만중 (g)	총저중 (kg/10a)	상저중 (kg/10a)	관행대비 상저비율 (%)
생분해	257 a	5.1 a	803 b	4,170 a	4,039 a	101
무피복	215 b	4.8 b	721 c	2,763 c	2,542 c	96
관행피복	261 a	5.2 a	879 a	3,913 ab	3,756 b	100

표 18. 야콘 중간생육(9월 10일)

구분	생분해	무피복	관행
괴근중(kg/10a)	698 ab	675 b	722 a

표 19. 야콘 수확기 생육 및 수량('15~'16)

구분	과장 (cm)	과폭 (cm)	총수량 (kg/10a)	상품수량 (kg/10a)	관행대비 상저비율 (%)
생분해	25 a	43.9 a	3,454 a	2,936 a	106
무피복	23 a	41.2 a	3,054 c	2,718 b	111
관행피복	23 a	42.6 a	3,276 b	2,622 c	100

4. 적 요

(시험 1) 고추에 대한 생분해성 멀칭필름 실증시험

- 가. 생분해 필름 멀칭 고추재배시 정식후 50~60일후 두둑 측면과 정식구멍에서 분해가 시작되어 10월 말 70% 정도가 분해되었고, 이후 밭 경운시 문제가 없었음
- 나. 생분해 필름 멀칭 고추재배 시 관행구(HDPE)와 생육 및 수량은 통계적인 차이가 없었음
- 다. 생분해 필름 멀칭 재배 전·후 토양 화학성 차이는 없었음

(시험 2) 양파에 대한 생분해성 멀칭필름 실증시험

- 가. 생분해 필름 멀칭 양파재배시 관행구(HDPE)와 생육 및 수량의 차이는 없었음
- 나. 고추와 마찬가지로 시험전·후 토양의 화학성 차이는 없었음

(시험 3) 옥수수에 대한 생분해성 멀칭필름 실증시험

- 가. 옥수수 재배기간중 평균지온(토양 10cm 부근)은 관행구가 무멀칭구 보다 3.1℃ 높았고, 생분해 1구와 생분해 2구 또한 무멀칭구 보다 2.2℃, 2.8℃ 높았음.
- 나. 옥수수의 이삭중은 생분해 2구 처리에서 195g으로 가장 무거웠고, 관행구>생분해 1구> 무멀칭구 순이었으나 통계적 유의성은 없었음.
- 다. 토양생태계의 건전성 지표로 이용되고 있는 Dehydrogenase 활성은 생분해 2 처리구가 168mg/kg 으로 가장 높았고 관행구와 유의적인 차이를 보여, 생분해필름으로 멀칭하여 토양 미생물의 건전성이 높아진 것으로 판단됨.

(시험 4) 콩추에 대한 생분해성 멀칭필름 실증시험

- 가. 콩추의 엽병장과 엽중은 관행구> 생분해 1구 > 생분해 2구 > 무멀칭구 순으로 컷으나, 차이는 미미하였음
- 나. 콩추의 경우 생분해 필름적용시 수량이 관행보다 낮아 실용화에 문제가 있을것으로 판단됨.

(시험 5) 고구마·야콘에 대한 생분해성 멀칭필름 실증시험

- 가. 생육중기 관행구의 고구마 괴근중이 2,892kg/10a로 가장 많았고, 야콘의 경우도 생육중기 수량은 관행구가 722kg/10a로 높았음
- 나. 수확기 고구마의 수량은 생분해 필름구가 4,170kg/10a, 야콘의 수량은 3,454kg/10a 가장 높았음.

5. 인용문헌

- 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.
- 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 annum* 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., Ahn, B.K., Kim, H.G., Jeong, S.S., 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.
- Lee, J. S., Jeong, K.H., Kim, H.S., Kim,J.J., Song, Y.S., Bang, J.K., 2009. Biodegradable plastic mulching in sweetpotato cultivation. *Korean J. Crop Sci.* 54:135~142.
- Lee, Y.H., Ha, S.K., 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, 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, p.p. 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-degradable plastic: Theit role in the protection of the environment polymer. Deg. and Stabil. 29:136-143.
- 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, 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.
- 김수정. 남정환. 진용익. 홍수영. 장동철. 정진철. 야콘의 국내 재배동향. 2012. 한국자원식물학회 춘계학술발표회. p. 16.
- 김유학. 작물과 토양화학. 2003. 한국토양비료학회, 토양과 비료 13. pp. 3-11.

6. 연구결과 활용

연도(연차)	활용방안	제 목
2015(2년)	정책제안	옥수수 보급종 생산단지의 생분해 멀칭필름 구입비 지원
2016(3년)	정책제안	생분해성 멀칭필름 구입비 지원
	영농정보	고구마·야콘 재배 시 생분해성 필름 멀칭효과
	논문게재	Effects of Bio-degradable Mulches on the Yield of Maize and the Density of Soil Microb
	학술발표	생분해성 멀칭필름 사용이 몇가지 작물의 생육과 수량에 미치는 영향

7. 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도		
					'14	'15	'16
과제책임자	(주)일신화학	연구소장	박광억	과제 총괄	○	○	○
세부책임자	환경농업연구과	농업연구사	임수정	세부주관 수행	○	○	○
공동연구자	환경농업연구과	농업연구사	허수정	토양분석 지원	○	○	○
	"	"	최승출	연구협력	○	○	○
	"	"	윤병성	연구협력	○	○	○
	"	공무직	김장수	작물 재배관리	○	○	○
	"	농업연구관	박영학	연구협력	-	-	○
	"	"	최준근	연구협력	○	○	-
	"	"	김인종	연구조언	-	-	○
	"	"	김재록	연구조언	○	○	-