

벼 부산물을 함유한 생분해성 멀칭비닐의 포장 재배조건에서의 특성 및 분해력 연구

한상익*[†] · 강항원* · 장기창* · 서우덕* · 오성환* · 나지은* · 이형운** · 정미남** · 최경진*

*국립식량과학원 기능성작물부, **국립식량과학원 바이오에너지작물센터

Studies on the Bio-degradability and Characteristics of Mulching Films Containing Rice By-products Applied to Upland Crops

Sang-Ik Han*[†], Hang-Won Kang*, Ki Chang Jang*, Woo Duck Seo*, Ji-Eun Ra*, Seong-Hwan Oh*, Hyeong-Un Lee**, Mi-Nam Chung**, and Kyung-Jin Choi*

*Department of Functional Crop, National Institute of Crop Science, RDA, Milyang 627-803, Korea

**Bioenergy Crop Research Center, National Institute of Crop Science, RDA, Muan 534-833, Korea

ABSTRACT The main challenges for the development of agricultural bio-degradable mulching film concern the degradation during the lifetime of cultivated crops. A set of rice by-product (rice-hull and rice-bran) based bio-degradable mulching films was developed and tested, following the measurement of standard bio-degradability rate and adaptability in a large scale field experiment. The standard bio-degradability of bio-film passed the KS (Korea standard) regulation. The result of mechanical analysis of bio-degradable mulching film presented a higher mechanical strength and elongation rate compared with polyethylene film. In addition, bio-film could be degraded into fragments within 4 months under the field condition of several upland crops. Bio-degradable mulching film indicated great potential as a new source of agricultural bio-degradable material.

Keywords : rice by-product, bio-film, bio-degradable materials

지난 50여년간 석유로부터 개발된 고분자 플라스틱은 주곡작물과 원예작물의 생산에 널리 사용되고 있다. 특히나 비닐하우스와 일반 노지의 멀칭재배를 위한 비닐의 사용이 두드러지고 있는데 이것은 작물재배에 있어서 PE(polyethylene) 멀칭 재배는 토양수분 유지보존, 지온변화 억제, 토양침식 방지, 잡초의 억제효과가 있어 최근 급격하게 줄고 있는 농촌 인구와 고령화에 따른 노동력 문제를 해결할 수 있는 재배법으로 각광을 받고 있다(Lee *et al.*, 2009; Briassoulis, 2007; Hwang *et al.*, 1996; Kim and Hong, 1996). 그러나 지속적

인 난분해성 농업용 비닐의 사용은 심각한 부작용을 내포하고 있다. 과거 대부분의 폐기된 농업용 비닐은 토양에 매립하거나, 태우는 방법에 의존하고 있었다. 매립에 의한 처리법은 토양의 황폐화와 그곳에서 생산되는 작물의 안전성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있고, 태우는 방법도 대기환경 오염 때문에 이제는 금지되고 있다. 우리나라의 경우 2009년 한해 발생예정인 34만톤의 폐비닐 중 수거실적은 19만톤으로서 전체 발생량의 60%도 수거되지 않고 있는 실정이며 나머지는 토양 중에 잔존하거나 농경지와 농경지 주변 환경에 버려지는 것으로 보고되고 있고, 각 지자체와 정부는 해마다 폐비닐 수거에 많은 노력과 비용을 지불하고 있는 실정이다. 매립에 의한 환경호르몬 유출, 독성 다이옥신 발생 등의 위해성을 해결하기 위해 분해가 가능한 환경친화적이고 무해한 분해성 플라스틱에 대한 개발 요구가 증가하고 있으며, 특히나 유럽을 중심으로 한 여러 국가에서는 쇼핑백과 일부 플라스틱에 생분해성 플라스틱 사용을 의무화하는 등의 제도를 실시하고 있다(Doane, 1992). 일반적으로 생분해성 플라스틱은 탄수화물을 미생물에 의해 구조변형하여 생산하거나 지방족 폴리에스테르의 구조변형에 의해 생산되는 바이오플라스틱으로서 바이오플라스틱 자체로도 이용이 가능하고, 생분해성 천연 고분자인 전분을 혼합하여 만들어진 플라스틱을 말한다. 천연고분자를 함유하는 바이오플라스틱의 경우 유기합성에 의한 생분해성 고분자보다 제조방법이 간편하고, 기존의 가공 장치를 활용할 수 있다는 장점을 가지고 있다(Tuil *et al.*, 2000; Kim *et al.*,

[†]Corresponding author: (Phone) +82-55-350-1217 (E-mail) han0si@korea.kr

<Received 16 March, 2012; Revised 12 April, 2012; Accepted 14 May, 2012>

1994; Kim *et al.*, 2004; Rhim *et al.*, 2004).

농업 분야에서의 생분해 플라스틱의 이용은 대부분 멀칭 비닐을 포함한 터널재배 형태의 생분해되는 비닐에 치중해 있으며, 비닐 생산을 위한 원재료로는 전분을 기반으로한 고분자가 많이 이용되고 있다. 대표적으로 가장 널리 사용되는 전분 기반 생분해 비닐 재료는 폴리하이드록시 부틸레이트(PHB)와 폴리락틱산(PLA)이 있다. 상업적으로 생산된 생분해 멀칭 비닐의 이용성을 검증하기 위한 실험에서 제조 방법에 따른 기계적 특성이나, 실제 밭에 재배를 통해 시간이 지남에 따라 외형적 변화와 재배 안정성 등에 대한 시험을 하여 생분해 비닐을 이용한 작물 재배가 가능함을 검증하였다(Scaracia-Mugnozza *et al.*, 2006; Galicia-Garcia *et al.*, 2011). 이와 같은 유용성에도 불구하고, 현재까지 생분해성 멀칭 비닐이 널리 보급되지 않는 이유는 기존의 석유화학에 기반한 비닐에 비해 상대적으로 비싼 가격과 균일하지 않은 비닐의 특성, 그리고 강도가 낮아 쉽게 찢어지는 단점 등에 있다.

본 연구는 기존의 단점을 해결하기 위해 개발된 벼 부산물인 왕겨와 쌀겨를 주성분으로 하는 생분해성 멀칭비닐의 표준 분해도 검정을 통한 분해력 검정과 포장 작물 재배의 적응성을 검정하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

전작물에 대한 포장재배시험과 표준 생분해성 검정을 위한 생분해성 멀칭비닐의 제조는 기존의 보고에서(Han *et al.*, 2011) 상업적으로 제품 생산이 가능한 조건인 표 1의 혼합비율과 같이 120~200 mesh 크기의 왕겨 55%, 100~150 mesh 크기의 쌀겨와 생분해성 수지를 혼합하여 가장 얇은 두께인 0.03 mm에 폭 90~110 cm, 100 m, 200 m의 제품을 생산하여 시험에 사용하였다(그림 1).

생분해성 멀칭 비닐의 특성 검정에서 가장 중요한 표준 토양중의 생분해도를 검정하였다. 생분해도 검정은 시료의 호기성 퇴비화 조건에서의 생분해도 검정법(KS M 3100-1: 2003)인 “퇴비-퇴비화 조건에서 플라스틱의 호기성 생분해도 및 붕괴도 측정 - 제 1 부 : 적정에 의한 발생 이산화탄소의 정량법”을 적용하여 시험을 수행하였다. 퇴비화 조건

에 사용되는 표준 퇴비는 상명대학교에서 제조된 퇴비를 사용하여 시험을 수행하였다.

생분해성 멀칭 비닐의 탄소함량 측정은 원소분석기(FLASH EA-1112)를 이용하여 시료 1 mg에 대한 열분해(1,800°C)를 통해 가스의 산화/환원 반응 결과를 열전도도검출기(TCD)를 이용하여 분석하였다. 이때 표준물질은 BBOT(2,5 Bis(5-tert-butyl-benzoxazol-2-yl) thiophene) 표품을 사용하였다. 대조로 사용된 셀룰로오스는 TLC grade 20 um(Sigma-Aldrich)를 사용하였다.

표준퇴비에 대한 성분분석은 폐기물 공정시험방법(환경부 제2007-58호)과 비료의 품질검사 방법 및 시료채취기준(농촌진흥청 제2005-27호)에 따라 ICP(Inductively Coupled Plasma, PE5300-DV, Perkin Elmer, USA)를 사용하여 분석을 수행하였다.

생분해도 시험은 국제규격 ISO 14855(1999)와 우리나라의 KS M3100-1(2003) 지침에 의한 퇴비화 조건에서 발생하는 이산화탄소의 양을 측정하여 유기 화합물인 플라스틱의 호기성 생분해도를 측정하는 방법으로 한국화학융합시험연구원의 생분해성 검정기(JSBDT-24)를 이용하여 분석하였다. 이 방법은 도시 고형폐기물 중 유기 성분들의 호기성 퇴비화 상황을 모사하기 위해 고안된 방법으로 시험방법은 시료중의 탄소가 이산화탄소로 전환되는 속도 및 전환율을 측정하는 방법에 의해 생분해율을 검정하는 방법이다.

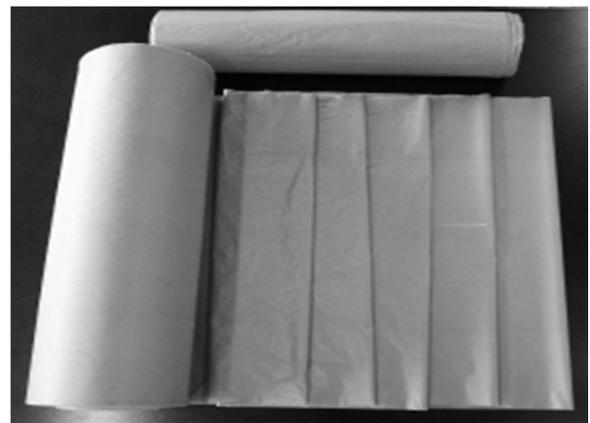


Fig. 1. Developed bio-degradable films for field test and commercial use.

Table 1. Composition of bio-degradable mulching film using rice by-product

Contents	Rice hull(%)	Rice-bran(%)	Bio-degradable material (%)	CaCO ₃ (%)
	120~200mesh	100~150mesh		
	55	10	30	5

이산화탄소 발생량은 45일간 누적량을 측정하였으며, 멀칭 비닐의 시료는 액체질소를 이용하여 분쇄하여 표면적이 $2 \times 2 \text{ cm}$ 보다 작게 하였다. 누적 이산화탄소의 발생량(ThCO_2)과 생분해도(D_T)는 아래의 식에 의해 계산하였다.

$$\text{ThCO}_2 = M_{\text{TOT}} \times C_{\text{TOT}} \times 44/12$$

M_{TOT} : 시험 시작시 퇴비에 첨가된 시료 중 건조 고형분의 양(g), C_{TOT} : 시료의 총 건조고형분에 포함된 유기탄소의 비율(g/g), 44/12 : 이산화탄소의 분자량과 탄소의 분자량

$$D_T = [(\text{CO}_2)_T - (\text{CO}_2)_B] / \text{ThCO}_2 \times 100$$

$(\text{CO}_2)_T$: 시료가 담긴 퇴비화 용기로부터 발생한 이산화탄소의 누적량(g), $(\text{CO}_2)_B$: 접종원 용기로부터 발생하는 이산화탄소 누적량의 평균(g), ThCO_2 : 용기 속 시료에 의해 발생하는 이론적 이산화탄소의 양(g)

기계적 물성 특성평가는 Stable micro system사의 TA-XT2 texture analyzer를 이용하여 인장강도와 인장력 등 기계적 물성을 측정하였다. 인장강도와 인장력은 ASTM (American society for testing and materials, 미국재료규격 시험협회) D882 규격과 KS M 3001규격에 의해 비닐 조각을 만들어 측정하였고, 시료당 3회 측정하여 평균치를 사용하였다.

발작물의 생분해성 멀칭비닐 포장 피복시험에 의한 특성 검정을 위해서 국립식량과학원 기능성작물부 들깨 포장, 바이오에너지작물센터의 고구마 포장, 충청북도 괴산군 칠성면 농가 수수 포장을 이용하여 피복에 의한 생분해성 시험을 수행하였다. 시험구 면적은 가로 2 m 세로 4 m 이며 3반복으로 하였고, 대조를 위해 일반 농업용 멀칭비닐인 폴리에틸렌(LDPE, low density polyethylene, 0.03, 0.018 mm)

를 사용하였다. 기타 재배방법과 시비는 작물 표준재배법과 농가의 관행재배에 준하여 시험을 수행하였다.

결과 및 고찰

생분해성 멀칭 비닐을 개발하여 실용화하는데 가장 중요한 특성 중에 하나는 작물재배에 따른 토양중의 생분해 정도를 측정하는 것이다. 친환경 인정 기준의 표준 분석법에는 생분해도를 측정하는 방법과 기준을 제시하고 있다. 표준 생분해도 측정 방법은 표준 퇴비와 같이 생분해되는 정도를 이산화탄소의 발생량으로 측정하고 있다. 이산화탄소 측정에 있어서 시료의 탄소함량은 매우 중요한 가변요인으로 시료의 탄소 함량을 측정한 결과는 표2와 같다. 표준 셀룰로오스 시료의 탄소함량은 44%인 반면, 생분해성 멀칭비닐은 탄소가 59.4% 함유되어 있음을 확인하였다.

미생물의 분해 작용에 의한 생분해도 측정에서 표준퇴비의 탄소와 질소 비율, 그리고 주요 성분 또한 생분해도를 결정하는 가변 요인으로 매우 중요하다. 표준퇴비의 분석결과는 표 3에 나타난 것과 같이 pH는 8.1로서 약 알칼리성이었고, 고형물이 45.5%, 휘발성고형물이 54.4%를 차지하고 있었다. 또한 퇴비화 과정에서 탄소는 미생물의 에너지원이며, 질소는 영양분으로 이용됨으로 적당한 비율은 매우 중요하여 호기성 퇴비화 조건에서의 생분해도 검정법(KS M 3100-1: 2003)은 퇴비화에 적당한 C/N을 기준을 30~40으로 규정하고 있다. 시험에 사용된 표준퇴비는 C/N율이 32로서 기준에 충족함을 확인하였다.

생분해도 시험은 시료의 호기성 퇴비화 조건에서의 생분해도 검정법(KS M 3100-1: 2003)에 따라 온도, 혼입공기, 습도가 조절되는 퇴비화 조건에서 시료중의 탄소가 이산화탄소로 전환되는 속도 및 전환율을 측정함으로써 유기화합물인 생분해성 비닐의 호기성 생분해도를 측정하는 방법으

Table 2. Comparison of carbon contents in samples and standard.

	Cellulose standard	Bio-degradable mulching film
Carbon contents(%)	44.0	59.4

Table 3. Components analysis of standard compost.

	pH (20°C)	moisture	solid contents	volatile contents	N	C	H	O	C/N ratio
Contents (%)	8.1	54.5	45.5	54.4	0.65	20.90	2.30	21.20	32

Table 4. Accumulated CO₂ contents during 45 days under the standard degradability test procedure.

Days	Blank (g CO ₂)	Standard compost (g CO ₂)	bio-degradable mulching film (g CO ₂)
0	0	0	0
7	3.0	5.4	6.1
14	7.2	10.3	11.6
21	9.8	13.6	15.0
28	11.7	16.1	17.2
35	13.5	18.7	19.0
45	15.8	21.8	21.3

Table 5. Final bio-degradability of bio-degradable mulching film under the standard composting state at 45 days after treatment.

Samples	ThCO ₂ *	Bio-degradability(%)	Final bio-degradability(%)
Cellulose	8.0727	74.5 ^a	-
Bio-degradable mulching film	11.1137	55.5 ^b	74.5

* ThCO₂ : theoretical CO₂ emission contents measured by carbon contents.

로 수행되었다. 분해되는 과정에서 이산화탄소, 물, 무기염류, 미생물 등은 최종 생분해 산물이라 말할수 있으며, 이때 이산화탄소 발생량을 연속적으로 주기적으로 측정하여 분해되는 정도를 비교하였다. 생분해도(D_T)는 아래의 식과 같이 시료의 이론적 이산화탄소 발생량과 실제 시료로부터 발생하는 이산화탄소의 비율로 결정하였다.

$$D_T = [(CO_2)_T - (CO_2)_B] / ThCO_2 \times 100$$

분석결과는 표 4와 그림 2에 나타낸 것과 같이 7일이 경과한 시점에서 표준퇴비의 이산화탄소 발생량은 3.0 g, 표준 셀룰로오스의 이산화탄소 발생량은 5.4 g이었고, 생분해성 멀칭비닐의 이산화탄소의 발생량은 6.1 g이었다. 이때 28.1%의 생분해가 일어난 것으로 조사되었으며, 4주가 경과한 시점에서의 표준퇴비의 이산화탄소 발생량은 11.7 g, 셀룰로오스는 16.1 g, 그리고 생분해성 멀칭비닐은 17.2 g 발생하였고, 누적 생분해도는 50%를 나타내었다.

단기 생분해도 측정법을 기준으로 45일째의 최종 생분해도 측정된 결과는 표 5에 나타낸 것과 같이 이론적인 셀룰로오스의 이산화탄소 발생량은 8.0727 g, 생분해성 멀칭비닐의 이산화탄소 발생량은 11.1137 g으로 계산되었고, 생분해도는 셀룰로오스가 74.5%, 생분해성 멀칭비닐은 55.5%의 생분해도를 나타내었다. 셀룰로오스의 분해도를 기준으

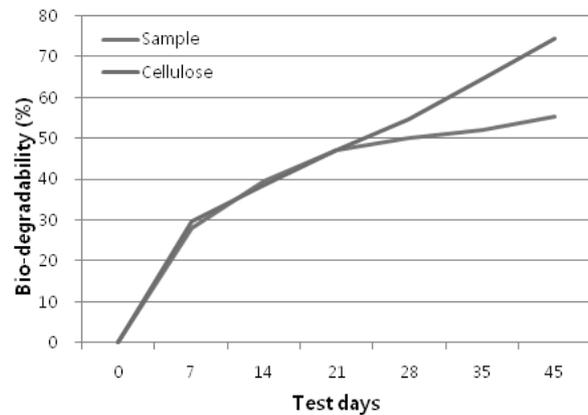


Fig. 2. Biodegradability of bio-degradable mulching film under the standard degradability test procedure.

로 생분해성 멀칭비닐의 최종 생분해도를 계산한 결과는 74.5%이었다. 이것은 친환경 기준[시료의 호기성 퇴비화 조건에서의 생분해도 측정법(KS M 3100-1: 2003) 결과 셀룰로오스 대비 70% 이상]을 충족하는 결과이다.

생분해성 멀칭비닐의 작물 재배에 따른 물리적 특성 변화를 관찰하기 위해 우선 토양 피복전의 비닐을 대상으로 분석을 수행하였다. 표 6의 인장강도 비교에서 일반 멀칭비닐은 파단점까지의 최대 인장강도가 345 g이 나온 반면, 생분해성 멀칭비닐은 429 g으로서 인장강도가 우수함을 보였고,

신장율 비교에서도 74%와 171%로서 생분해성 멀칭비닐이 더 신장율이 우수함을 보였다. 이 결과는 기존의 Han *et al.* (2011)의 결과와는 다른 것으로 이것은 기존에 같은 두께의 비닐을 사용해서 비교한 것과는 다르게 실제 농사에 널리 사용되는 0.018 mm 두께의 비닐과의 비교에 의해 차이가 발생한 것이다. 비닐이 늘어난 길이도 5.2 cm와 12.0 cm로 2배 이상 차이가 발생함을 보였다. 그림 3은 비닐의 변형력 (stress)을 측정한 결과로서 저밀도 일반 비닐의 경우 파단점 이후는 당기는 힘이 줄어들어는 현상을 보였고, 완만하게 늘어나다가 절단되는 특성을 보인 반면, 생분해성 비닐의 경우는 파단점 이후 지속적으로 일정한 당기는 힘이 있어야 늘어나다가 갑자기 끊어지는 특성을 보였다.

작물 재배 기간에 따른 생분해성 비닐의 인장강도와 신장

율을 비교하기 위해 들깨와 고구마, 그리고 수수에 대해서 피복 시험을 수행하였다. 들깨는 밀양, 고구마는 무안, 그리고 수수는 괴산 지방의 농가와 식량과학원 시험포장에서 수행하였다. 생분해성 비닐의 재배기간에 따른 기계적 특성은 그림 4에서 보는 바와 같이 수수의 경우 초기 431 g의 강도가 한달 후는 325 g으로 줄어 들었고, 두달이 지나서는 253 g까지 급속히 줄어들었다. 신장율도 초기의 171%에서 1개월 후는 31.5%, 그리고 2개월 후는 6%까지 줄어들었다. 들깨의 경우는 인장강도가 2개월 후에 412 g, 3개월 후는 297 g까지 줄었고, 신장율은 2개월에 36.4%, 3개월에 19.3%로 줄어들었다. 고구마의 경우는 인장강도가 2개월에 444 g으로 강도에서 변화가 없었고, 3개월에 380 g, 4개월에 323 g으로 줄어들음을 보였다. 신장율에서도 유사하게 2개월에 83.6%,

Table 6. Mechanical characteristics of commercial bio-degradable mulching film.

	Force(g)	Elongation(%)	Elongated distance(cm)
LDPE film (control)	345 ^a	74 ^a	5.2 ^a
Bio-degradable mulching film	429 ^b	171 ^b	12.0 ^b

* LDPE : low density polyester

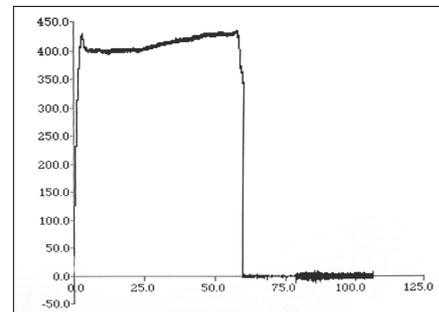
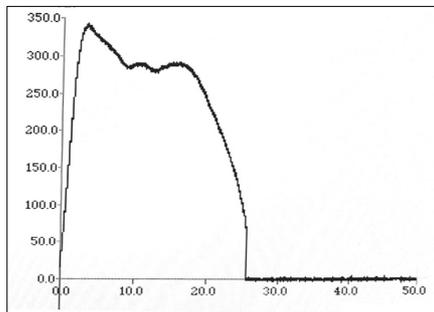


Fig. 3. Force and elongation comparison between two types tested film. Left : LDPE mulching film, right : bio-degradable mulching film.

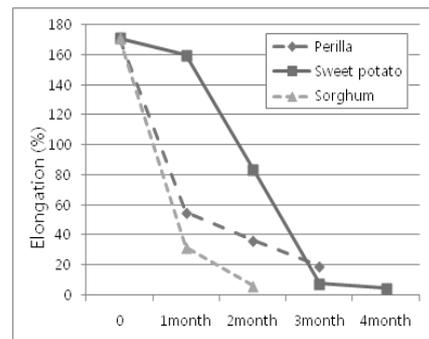
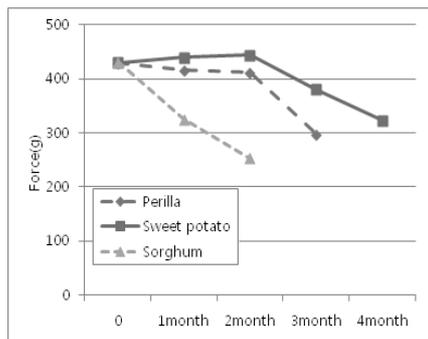


Fig. 4. Mechanical analysis of bio-degradable mulching film according to crops during the cultivation period. Left : force values, right : elongation values.

Table 7. Final force values and elongation values of bio-degradable mulching film according to the cultivated crops.

Crops	Force at 2 months(g)	Elongation at 2 months(%)	Field covering rate by crops(%)
Sorghum	253 ^a	6.0 ^a	60
Perilla	297 ^b	36.4 ^b	80
Sweet potato	323 ^b	83.6 ^c	100

**Fig. 5.** Photographs of covering of sweet potato field with bio-degradable mulching film, growth state after 2 months, and degraded films after harvested in 4 months.

3개월에 7.4%, 그리고 4개월에 4.3%까지 줄어들었다. 작물 간의 비교에서는 수수에 피복하였을 경우 생분해가 급속도로 진행됨을 보였고, 고구마가 가장 늦게 분해되는 현상을 보였다. 이 현상은 작물의 피복도와 상관이 있을 것으로 사료되는데, 이것은 생분해성 비닐의 경우 햇빛, 자외선, 비, 바람 등에 영향을 받는 현상(Lee *et al.*, 2009)과 유사하여, 표 7에서 보는 바와 같이 2개월이 지난 시점에서의 작물에 의한 토양 피복도와 특성조사에서 유사한 경향을 보였다. 고구마는 전체 포장을 덮을 수준이었고, 들깨는 80% 수준이었고, 수수의 경우는 토양 이식이 늦어져 60% 수준의 피복도를 보였다.

그림 5의 결과는 생분해성 멀칭 비닐을 기계를 이용해서 피복하는 것과, 2개월이 지난 시점에서의 생육 그리고 수확이 끝난 시점에서의 생분해도를 관찰한 결과이다. 이 결과는 기존의 지방족 폴리에스테르와 폴리카프로락톤에 전분을 섞어서 개발한 멀칭 비닐의 포장 재배시험과 유사하여 토양중 생분해 정도는 4개월인 120일 경과했을 경우 외형상 평가에서 95%이상이 분해되었다고 보고하였다(Lee *et al.*, 2009; Suk *et al.*, 2003).

천연 고분자를 이용한 생분해성 비닐의 문제점은 일반 비닐과 비교해서 비싼 생산비, 강도 부족으로 인한 사용성 제한, 유통과정에서 저장에 따른 조기 분해로 상품성 상실, 그리고 천연고분자의 지속적인 원료 공급 부족이 문제시 되고 있다. 벼 부산물인 왕겨와 쌀겨를 이용하여 개발된 생분

해성 멀칭 비닐은 옥수수 전분과 같이 정제과정에 의한 생산단가가 올라가는 문제와 생분해성 비닐의 황과 중의 인장력 차이에 의한 강도 부족을 왕겨와 쌀겨의 단순 분쇄와 인장력 보완, 그리고 왕겨와 쌀겨의 경우 연중 지속적으로 공급됨으로 생분해성 멀칭 비닐 개발에 유리한 원료가 될 수 있을 것이라 사료된다.

적 요

작물의 멀칭재배에 활용이 가능한 생분해성 비닐의 생분해 특성과 작물 재배에 따른 특성 변이를 검정한 결과는 다음과 같다.

1. 천연고분자인 벼 부산물(왕겨와 쌀겨)을 이용하여 상업적으로 이용이 가능하고 생분해가 가능한 멀칭 비닐을 제조하였다.
2. 생분해성 멀칭 비닐의 특성 검정을 위한 표준 생분해도 측정결과 셀룰로오스 대비 75%의 생분해가 되어 친환경 기준을 충족함을 확인하였다.
3. 생분해성 멀칭 비닐의 기계적인 특성은 기존 멀칭비닐과 비교해서 인장강도와 인장력에서 우수함을 보였고, 파단점 이후 비교에서도 생분해성 비닐은 지속적인 힘을 유지시켜야 늘어나는 특성을 보였다.
4. 작물을 대상으로한 시험에서 기계화도 가능하며, 인장

강도와 인장력을 통한 분해력 비교에서 작물에 따라 시간이 지남에 따라 인장강도와 인장력에 차이를 보임을 관찰할 수 있었고, 작물의 토양 피복도가 생분해에 영향을 미침을 확인하였다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 기관고유사업(과제번호 : PJ007457)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌

- Briassoulis, D. 2007. Analysis of the mechanical and degradation performances of optimised agricultural biodegradable films. *Polymer Degradation and Stability*. 92 : 1115-1132.
- Doane, W. M. 1992. USDA research on starch-based biodegradable plastics. *Starch*. 44 : 292-295.
- Galicia-Garcia, T., F. Martinez-Bustos, O. Jimenez-Arevalo, A. B. Martinez, R. Ibarra-Gomez, M. Gaytan-Martinez, M. Mendoza-Duarte. 2011. Thermal and microstructural characterization of biodegradable films prepared by extrusion-calendering process. *Carbohydrate Polymers*. 83 : 354-361.
- Han, S. I., H. W. Kang, D. W. Byun, K. C. Jang, W. D. Suh, J. E. Ra, J. Y. Kim, and K. J. Choi. 2011. Bio-degradable Characteristics and Mechanical Properties of Mulching Films Containing Rice By-product. *Korean J. Crop Sci.* 56(2) : 113-118.
- Hwang, H. J., J. W. Suh, I. J. Ha, and Y. W. Ryu. 1996. Effects of planting time and mulching material on growth and seed yield for seed production culture in onion. *RDA. J. Agri. Sci.* 38(1) : 640-647.
- Kim, H. K. and B. H. Hong. 1996. Effects of mulching materials on physical properties of soil and grain yield of sesame. *Korean J. Crop Sci.* 31(3) : 260-269.
- Kim, J. H., T. H. Park, D. M. Shin, S. H. Lee, and G. Y. Han. 1994. Biodegradable Characteristics of Starch-filled Polyethylene Film by Fungi. *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* 9(4) : 412-417
- Kim, M. R. and S. J. Lee. 2000. Mechanical Properties and Degradability of Degradable Polyethylene Films Containing Crosslinked Potato Starch. *Korean J. Food Sci. Technol.* 32(6) : 1298-1305
- Kim M. R. 2004. Gas and Lipid Permeabilities and Biodegradability of Poly(3-Hydroxybutyric Acid)/Chitosan Blend Film. *Korean J. Food SCI. Technol.* 33(7) : 1224-1229
- 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(2) : 135-142.
- Ministry of Environment. 2003. Determination of the ultimate aerobic biodegradability and disintegration of plastic materials under controlled composting conditions — Part 1: Analysis of evolved carbon dioxide by titration method
- Mohanty, A. K., M. Misra, and G. Hinrichsen. 2000. Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites : An overview. *Macromolecular Materials and Engineering*. 276-277 : 1-24.
- Rhim, J. W. and J. H. Kim. 2004. Preparation of Bio-degradable Films Using Various Marine Algae Powder. *Korean J. Food SCI. Technol.* 36(1) : 69-74
- Scarascia-Mugnozza, G., E. Schettini, G. Vox, M. Malinconico, B. Immirzi, and S. Pagliara. 2006. Mechanical properties decay and morphological behaviour of biodegradable films for agricultural mulching in real scale experiment. *Polymer Degradation and Stability*. 91(11) : 19-24.
- Suk, H. S., S. H. Jung, S. C. Kim, B. S. Kim, Y. S. Shin, T. J. Lee, S. H. Jang, and B. Y. Shin. 2003. A Study on the Mechanical Properties and Oxygen Permeability of Pectin/Starch Blend Film. *Journal of the Korean Industrial and Engineering Chemistry*. 14(8) : 1098-1103
- Tuil, R. V., F. Paul, M. Lawther, and C. J. Weber. 2000. Properties of biobased packaging materials. 13-44.