

## 억새 바이오매스 시용이 밭토양 이화학적성과 작물 생육에 미치는 영향

강용구<sup>1,†</sup> · 문윤호<sup>2</sup> · 권다운<sup>2</sup> · 이지은<sup>2</sup> · 김광수<sup>2</sup> · 차영록<sup>2</sup>

### Effect of Miscanthus Biomass Application on Upland Soil Physicochemical Properties and Crops Growth

Yong Ku Kang<sup>1,†</sup>, Youn Ho Moon<sup>2</sup>, Da Eun Kwon<sup>2</sup>, Ji Eun Lee<sup>2</sup>, Kwang Soo Kim<sup>2</sup>, and Young Lok Cha<sup>2</sup>

**ABSTRACT** In this study, miscanthus with C/N ratio of 224 were applied to the soil and treated with 0 (control), 10 tons and 20 tons·ha<sup>-1</sup> to improve the soil and promote crop growth. As a result, soil organic matter content increased from 11.0 g·kg<sup>-1</sup> before the test to 16.3 after 3 years. Soil cation exchangeable capacity increased to 15.3 cmol<sub>c</sub>·kg<sup>-1</sup> after 3 years. In the sweet sorghum, stem was the most thickest at 20 tons·ha<sup>-1</sup> application of miscanthus and the highest juice amount per plant was 60 ml. The yield index multiplied by the soluble solids content of juice and juice amount was the highest at 1,913 for 10 tons application and 1,851, 1,839 for 20 tons, control respectively. Number of sweetpotato storage root were 2,9 in 20-tons application plot, the same as control, and 10-tons application plot was 3.6, the most. Two-year average yields of 20 tons plot and control were low at 2,579 kg/10a and 2,708 respectively, and 10 tons plot was the highest at 3,289. For onions, the biomass application did not effect the yield. but onion plant and leaf length were longer in 20 tons plot than in control or 10 tons. The yield of garlic was 2,630~2,901 kg/10a and there was no effect of miscanthus application. Plot of 10 tons application were the longest in plant and leaf length, and the number of scale was 8.2-8.3 per in bulb, and 8.9 tons·ha<sup>-1</sup> in control. Therefore, it was confirmed the possibility that miscanthus biomass application of about 10 tons·ha<sup>-1</sup> could improve the soil condition and promote crops growth and yield.

**Keywords** : biomass, crop yield, growth, miscanthus application, *Miscanthus sacchariflorus*, resource, soil amendment

억새는 우리나라를 비롯하여 중국과 일본에 자생하는 벼과(Poaceae) 억새속(*Miscanthus*)에 속하는 다년생 초본식물이다. C4 광합성계 식물로서 광합성능력이 뛰어나고 섬유질계 바이오에너지 원료이며 국내외에서 가장 중요한 바이오매스 자원 중 하나이다(Atkinson, 2009). 억새 생산과 소득원 개발을 위해 국립식량과학원에서 물억새의 일종인 “거대억새1호”를 육성하였다. 키가 4 m까지 자라고 마른 줄기 수량이 일반 억새의 2배 이상인 ha당 20톤에 달한다(Moon *et al.*, 2010). 과거에는 억새를 활용하여 바이오에탄올, 연료 펠릿 등 에너지로 이용하였으나 최근에는 건축 자재, 벼섯 배지, 축사 깔개 등으로 활용하는 연구가 진행되고 있다. 유기물을 토양개량제로 이용하고자 간척지에 수수, 수단

그라스, 호밀 등 녹비작물을 재배하여 토양에 환원함으로써 토양 유기물 함량, 용적밀도 등 토양의 비옥도를 개선시킨 사례가 있다(Kang *et al.*, 2014). 또한 시설하우스 토마토 재배 시 연작장해를 경감하기 위해 헤어리베치와 호밀 등을 토양에 시용한 결과 토양 중 유기물, 질소 및 유용인산 함량 등이 증가하고 토마토 시들음 병원균의 밀도가 현저히 감소하는 사실을 구명한 바 있다(Jung *et al.*, 2015). 토양개량제로 많이 사용하는 벼짚을 간척지 밭에 시용하였을 때, 토양유기물 함량은 미미하게 증가하지만, 청보리 수량은 8~21% 증가하였고 다양한 토양개량 효과가 있어 ha당 벼짚 2.5~5.0톤 이하를 적정 투입량으로 판단하였다(Lee *et al.*, 2014). 억새, 대마, 밀 바이오매스의 퇴비화 과정 분

<sup>1</sup>국립식량과학원 바이오에너지작물연구소 농업연구관 (Senior Researcher, Bioenergy Crop Research Institute, National Institute of Crop Science, RDA, Jeonnam 58545, Korea)

<sup>2</sup>국립식량과학원 바이오에너지작물연구소 농업연구사 (Researcher, Bioenergy Crop Research Institute, National Institute of Crop Science, RDA, Jeonnam 58545, Korea)

<sup>†</sup>Corresponding author: Yong Ku Kang; (Phone) +82-61-450-0132; (E-mail) [agree@korea.kr](mailto:agree@korea.kr)

<Received 4 November, 2019; Revised 31 December, 2019; Accepted 1 January, 2020>

해특성을 살펴보면, 역새는 8주 동안 무게가 17% 감소하였으며 C/N율이 400 이상에서 300으로 감소하였다. 역새의 높은 C/N율, 리그닌 고함유, 견고한 구조 등으로 절단 부위에서 가까운 곳만 분해가 일어났다. 밀짚이나 퇴비와 비교하면 역새 분해속도가 현저히 늦었다(Dorte *et al.*, 2006).

이에 따라 본 연구는 바이오매스 수량이 많은 역새를 밧토양 개량제로 사용하여 토양 개선 효과를 확인하고, 사용량과 시험작물을 달리하여 역새 사용에 따른 부작용 및 작물에 미치는 영향 등을 살펴보고자 수행하였다.

### 재료 및 방법

#### 시험포장

본 연구는 2017년부터 2019년까지 3년간 전라남도 무안군에 위치한 바이오에너지작물연구소 시험포장에서 수행하였다. 시험구의 크기는 26.5 m×80 m, 총면적 2,120 m<sup>2</sup>이었으며, 시험 전 토양의 이화학적 특성은 토양 산도(pH)는 7.2, 전기전도도(EC) 0.66 dS·m<sup>-1</sup>, 토양유기물 함량 11.0 g·kg<sup>-1</sup>,

유효인산 함량 163 mg·kg<sup>-1</sup>이었다(Table 1). 토양 중 치환성 칼슘, 칼륨, 마그네슘 등 양이온 성분 외에 무기양분은 적정 범위 이하였다. 시험 포장의 토성은 양토였으며 용적 밀도(bulk density)는 1.6 Mg·m<sup>-3</sup>로 적정 범위인 1.5 Mg·m<sup>-3</sup> 이하보다 높아 딱딱하였다.

#### 시험재료 및 처리내용

토양에 사용한 시험재료는 ‘거대역새1호’ 마른 줄기였으며, 수확하여 1년 이내 보관한 역새 곤포를 풀어서 5cm 내외로 절단하였다. 절삭물을 시험포장에 골고루 흩어 살포하고 5회 이상의 로터리 경운을 통해 토양에 혼입되도록 하였다(Fig. 1). 사용한 역새는 탄질비(C/N)가 224로서 벧짚과 톱밥의 중간 수준을 보였는데, 이는 적정 수준인 20~30을 크게 초과하여 퇴비화가 느린 재료였다(Table 2, Ahn *et al.*, 2019).

매년 5월 말과 6월 초에 역새 절삭물을 ha 당 10톤과 20톤 각각 사용하고 1~2주 후에 묘를 이식하였다. 묘 이식 후 시들지 않도록 충분히 관수하여 활착되도록 하였다. 시험

**Table 1.** Chemical properties of soil in the experimental field.

Item	pH (1:5)	EC <sup>z</sup> (dSm <sup>-1</sup> )	OM <sup>y</sup> (g·kg <sup>-1</sup> )	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg·kg <sup>-1</sup> )	Exch. Cation (cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> )				T-N <sup>x</sup> (%)
					K	Mg	Ca	Na	
Before planting	7.2	0.66	11.0	163	3.7	2.3	5.5	0.43	0.07
Optimal range	6.0-7.0	2 >	20-30	300-550	0.5-0.8	1.5-2.0	5.0-6.0	-	-

<sup>z</sup>EC, electrical conductivity, <sup>y</sup>OM, soil organic matter, <sup>x</sup>T-N, total nitrogen.



**Fig. 1.** Process of miscanthus soil application. The first process (left) was to dismantle miscanthus bale and second (middle) cut miscanthus. The last (right) applied miscanthus to soil.

**Table 2.** Chemical components of used miscanthus.

		Nutrient content (%)					C/N ratio
C	N	P	K	Ca	Mg		
44.8	0.20	0.05	0.34	0.01	0.09	224	

용 작물은 앞그루로 고구마, 단수수, 뒷그루로 양파, 마늘이 있으며 사용한 품종은 ‘풍원미’ 고구마, ‘초롱’ 단수수, ‘파워킹’ 양파, ‘남도’ 마늘이었다. 시비량 등 비배관리는 각 작물별 농촌진흥청 농업기술잡이를 따랐다(RDA, 2014~2017).

### 토양 및 식물체 분석

토양 이화학성 분석을 위해 역새 투입 7일 이내에 표토 0~20 cm 깊이의 토양을 채취하여 그늘에서 자연 건조시킨 후 2 mm 체를 통과한 시료를 농촌진흥청 토양화학분석법(RDA, 2010)에 따라 분석하였다. 토양 pH와 EC는 토양과 증류수를 1:5 (w/v)로 혼합하여 30분간 진탕한 후 pH, EC meter로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법, 전질소는 Kjeldahl 증류법, 유효인산은 Lancaster법으로 하였다. 치환성 양이온(K, Ca, Mg, Na)은 1 M ammonium acetate로 침출한 후 ICP (Inductively Coupled Plasma, Optima 8300, PerkinElmer Inc., USA)로 분석하였다. 토양의 수리전도도는 Double ring infiltrometer로 시험구 중앙을 측정하였으며 내외부 링의 직경은 28 cm, 53 cm이었다.

단수수 당도와 착즙량을 조사하기 위해 출수 후 45일 전후에 잎과 줄기 껍질을 제거한 줄기 부위만 채취하여 이중 압착식 착즙기를 사용하여 착즙하였고, 착즙액 시료는 ATAGO 사의 PAL- $\alpha$  Pocket refractometer를 사용하여 가용성고형물 함량(Brix 당도)을 측정하였다. 단수수 착즙액량과 착즙액의 가용성고형물 함량을 곱한 수량지수 항목을 이용하여 처리효과를 검정하였다. 고구마는 줄기와 잎의 생육 그리고 덩이뿌리의 수량을 조사하였고, 양파와 마늘은 지상부 생육과 인경 수량 등을 조사하였다. 생육조사는 생육성기에 10개체씩 3반복으로 시료를 취하여 측정하였으며, 수량은 1 m<sup>2</sup> 면적으로 3반복 무작위로 조사하여 산출하였다.

### 시험구 배치 및 통계분석

시험구는 난괴법 3반복으로 배치하였으며, 통계처리는

SAS 프로그램(Enterprise Guide 7.13)을 이용하였고 5% 유의수준에서 Duncan's multiple range test 방법으로 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 토양 이화학성

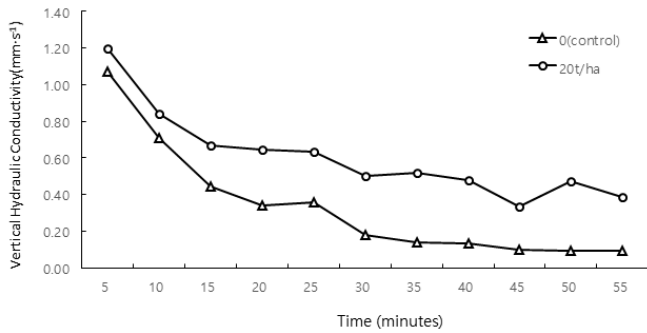
역새 사용 전후 3년간 토양 화학성 변화를 살펴본 결과 토양 pH는 큰 변화 없이 7.1~7.2 범위였다. EC는 역새 사용량이 많을수록 감소하였는데, 대조인 무시용구의 0.86 dSm<sup>-1</sup>에 비해 ha 당 10, 20톤을 사용하였을 때 각각 0.80, 0.60이었다(Table 3). 이는 C/N 20 이상인 유기물을 사용할 때 질소 기아(Nitrogen starvation) 현상이 일어난다는 보고와 관련된다(Hoffland *et al.*, 2010). 청보리를 사용하였을 경우 질소 기아 현상이 30일 가량 지속되었다는 보고(Im *et al.*, 2017)에 비춰볼 때 토양에 3년간 역새를 매년 사용하였기 때문에 역새를 분해하는 과정에서 토양 중 유기물 분해 미생물과 작물 간의 양분경합이 일어났을 것으로 보인다. 그 영향으로 역새 사용량이 늘어날수록 EC가 감소한 것으로 추론할 수 있다. 역새를 사용하였을 때 토양 유기물 함량이 증가하였는데 시험 전 11.0 g·kg<sup>-1</sup>에서 3년 후 최대 16.3 g·kg<sup>-1</sup>까지 증가하였다. 볏짚을 사용한 시험의 경우 토양 유기물 함량이 소폭 증가하여 본 실험 결과와 차이를 보였는데 이는 볏짚 사용량이 적었고 역새보다 볏짚의 C/N이 낮아 분해 속도가 빨랐기 때문일 것으로 보인다(Dorte *et al.*, 2006). 토양 양이온치환용량(CEC)은 역새 20톤 사용구가 높았는데 이는 역새 바이오 숯을 사용하였을 때 토양 CEC가 70일 만에 약 2 cmol<sub>c</sub>·kg<sup>-1</sup>이 증가하였다는 보고와 다르지 않았다(Khan *et al.*, 2017).

역새 사용량이 많을수록 수직 방향 수리전도도가 커짐에 따라 배수 속도와 더불어 토양수분 보유능이 감소하여 생육초기 한발 위험이 높을 것으로 보인다(Fig. 2). 이 토양 수리전도도는 공극이 수분으로 포화되었다고 보이는 55분

**Table 3.** Soil chemical properties before and after miscanthus application.

	pH (1:5)	EC (dSm <sup>-1</sup> )	OM (g·kg <sup>-1</sup> )	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg·kg <sup>-1</sup> )	Exch. Cation (cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> )			CEC (cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> )	T-N (%)
					Ca	Mg	K		
Before	7.2	0.66	11.0	163	5.5	2.3	3.7	15.5	0.07
After 0 t/ha <sup>2</sup>	7.1	0.86	13.5	392	5.1	2.3	1.6	12.6	0.06
10 t/ha <sup>2</sup>	7.2	0.80	13.5	411	5.0	2.4	1.6	12.2	0.08
20 t/ha <sup>2</sup>	7.2	0.60	16.3	362	6.4	2.4	1.8	15.3	0.10

<sup>2</sup>Soil was sampled in 2019. Miscanthus was applied for three years (2017~2019).



**Fig. 2.** Vertical hydraulic conductivity was high in miscanthus application plot.

경 역새 무시용구는  $0.09 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ 이고 20톤 역새 시용구는  $0.39$ 로 수직 이동 속도가 빨랐다. 기존에 점질 적색토에서 바이오 숯을 사용하였을 때 포화 수리전도도가 상승하였다는 보고와 일치하였다(He *et al.*, 2019). 일반적으로 유기물 시용함에 따라 토양의 보수력이 향상되지만 역새의 경우 분해 속도가 늦고 토양 공극률 증가 효과가 낮아(Ahn *et al.*, 2019) 시용 후 3년 이내에 토양의 수분 보유력 상승을 기대하기는 어려웠다.

**단수수의 생육·수량 반응**

역새 시용 후 단수수 성숙기의 생육을 조사한 결과, 잎수와 지상부 생체중은 역새 시용에 따른 효과가 없었고, 간장과 경태에서 역새 시용 1년차와 3년차에 처리 간 차이가

있었다(Table 4). 간장은 처리 후 3년차인 2019년에 20톤 시용구가 256 cm, 10톤 시용구가 294 cm, 무시용구가 310 cm 순으로 길었다. 작물 생리적 특성으로 영양생장기에 길이 신장이 이루어진 후 생식생장으로 전환하게 되므로 ha 당 20톤 역새 시용구에서는 분해되지 않은 유기물 누적으로 영양생장기에 토양 무기 질소가 부족하여 줄기 길이 신장은 부진하였으나 생식 생장기에 줄기와 잎이 자라면서 지상부 생육량을 회복한 것으로 보인다. 경태는 2017년 20톤 시용구가 가장 굵었고 그 이후 연차에는 차이가 없었다.

단수수를 수확하여 줄기 부위를 착즙한 결과, 착즙량과 가용성고형물 함량에서 처리 간 차이를 보였다. 개체 당 착즙량은 시험 1년차인 2017년에 20톤 시용구가 가장 많은 60 ml이었는데 경태가 굵어 착즙량이 많았던 것으로 보인다. 기존 보고에 따르면 비료 시용량을 두 배까지 늘려도 착즙량은 증가하지 않았는데 이는 영양 생장이 왕성해도 착즙량 증가로 귀결되지 않는다는 사실을 보여준다(Choi *et al.*, 2012). 한편 줄기 길이는 경태나 착즙량과 뚜렷한 상관관계를 보이지 않았고 착즙량과 착즙액의 가용성고형물 함량 간에도 상관관계가 없었다. 단수수 착즙액과 착즙액의 가용성고형물 함량을 곱한 수량지수는, 3년 평균치로 역새 10톤 시용구가 1,913으로 가장 높고 20톤 시용구와 대조구가 각각 1,851, 1,839 순이었다. 따라서 역새 10톤을 시용하였을 때 단수수 착즙 수량과 가용성고형물 함량이 높아질 수 있을 것으로 보인다.

이는 기존 간척지에 벼짚을 시용했을 때 청보리 수량 증

**Table 4.** Effects of miscanthus application on sweet sorghum growth and yield.

Application amount (ton/ha)	Year	Stem height (cm)	No. of Leaf (ea)	Stem diameter (mm)	Top FW (kg·plant <sup>-1</sup> )	Stem Juice amount (ml·plant <sup>-1</sup> )	Soluble solids content (brix %)
0 (control)	2017	311	13	21.6 b	0.74	46 b	15.3
	2018	228	12	19.2	0.65	112	14.1
	2019	310 a <sup>z</sup>	13	18.1	1.72	220	14.9 b
	<b>Avg.</b>	<b>283</b>	<b>13</b>	<b>19.6</b>	<b>1.04</b>	<b>126</b>	<b>14.8</b>
10	2017	341	13	20.7 b	0.77	40 b	15.8
	2018	246	12	19.4	0.68	137	13.5
	2019	294 a	13	19.3	0.98	129	15.0 ab
	<b>Avg.</b>	<b>295</b>	<b>13</b>	<b>17.7</b>	<b>1.49</b>	<b>102</b>	<b>15.8</b>
20	2017	337	13	22.7 a	0.80	61 a	14.5
	2018	231	12	19.1	0.63	127	14.4
	2019	256 b	11	15.9	1.33	163	17.4 a
	<b>Avg.</b>	<b>275</b>	<b>12</b>	<b>19.2</b>	<b>0.92</b>	<b>117</b>	<b>15.4</b>

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P < 0.05$ .

가 및 생육 촉진효과가 있었다는 보고와 연결된다(Lee *et al.*, 2014).

역새 파쇄물 시용량이 늘어나고 시험연차가 길어질수록 일시적 비절(肥切, fertilizer deficiency)과 생육초기 활착 지연 및 가뭄 피해가 발생하였다.

### 고구마의 생육·수량 반응

고구마 지상부 생육은 역새 시용의 영향을 받지 않았다. 수확 전 30일 전에 조사한 고구마 줄기 길이, 줄기 직경, 엽장은 처리 간에 유의적 차이가 없었다(Table 5). 줄기 길이는 167~223 cm, 경태는 7.6~9.1 mm, 엽장은 8.4~10.5 cm 범위에 분포하였다. 반면 지하부 저장 조직인 괴근(storage root, 덩이뿌리)은 역새 시용에 따라 달린 수와 무게에 차이

를 보였다. 식용으로 상품성이 있는 50~700 g 사이의 괴근(상저) 수는 주 당 2.6~3.9개였는데, 2년 평균치로 역새 20톤 시용구와 대조구가 2,9개였고, 10톤 시용구가 3.6개로 가장 많았다. 괴근 상품률은 75~93%로 처리 간 차이가 없었기 때문에 주당 상저 수가 곧 수량으로 귀결되었다. 역새 20톤 시용구와 대조구의 2년간 평균수량은 각각 2,579 kg/10a, 2,708으로 적었고 10톤 시용구가 3,289로 가장 많았다. 아울러 2018년에는 고구마 활착기와 성숙기에 가뭄이 지속된 기후적인 영향 등으로 전년도보다 수량이 떨어졌는데 특히 역새 20톤 시용구가 가장 낮은 수량을 보였다.

앞그루작물인 고구마와 단수수를 수확한 이후 10월에 양파와 마늘을 뒷그루작물로 재배하였다. 양파의 경우 역새 시용에 따라 수량의 차이는 인정되지 않았으나 일부 생육

**Table 5.** Effects of miscanthus application on sweetpotato growth and yield.

Application amount (ton/ha)	Year	Stem length (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf length (cm)	No. of Storage root (plant <sup>-1</sup> )	Storage root yield (kg/10a) <sup>z</sup>	Ratio. of Merchandising Storage root (%)
0 (control)	2017	167	8.0	8.8	3.1	3,824	92.7
	2018	193	9.0	10.5	2.6 b	1,591 b <sup>y</sup>	74.6
	<b>Avg.</b>	<b>180</b>	<b>8.5</b>	<b>9.6</b>	<b>2.9 b</b>	<b>2,708 b</b>	<b>83.6</b>
10	2017	168	8.1	9.6	3.4	4,180	92.8
	2018	223	9.1	10.1	3.9 a	2,398 a	86.3
	<b>Avg.</b>	<b>196</b>	<b>8.6</b>	<b>9.9</b>	<b>3.6 a</b>	<b>3,289 a</b>	<b>89.5</b>
20	2017	172	8.0	9.0	3.0	3,610	93.1
	2018	177	7.6	8.4	2.8 b	1,547 b	82.5
	<b>Avg.</b>	<b>175</b>	<b>7.8</b>	<b>8.7</b>	<b>2.9 b</b>	<b>2,579 b</b>	<b>87.8</b>

<sup>z</sup>Mean storage root weight from 50 to 700 g.

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P < 0.05$ .

**Table 6.** Effects of miscanthus application on onion growth and yield.

Application amount (ton/ha)	Year	Plant length (cm)	Leaf length (cm)	No. of leaf (plant <sup>-1</sup> )	Bulb weight (g)	Bulb height (cm)	Bulb yield (kg/10a)
0 (control)	2018	54.7	41.5	8.3	222	7.9	13,403
	2019	43.4 b <sup>z</sup>	31.5 b	7.5	217	7.5	7,138
	<b>Avg.</b>	<b>49.0</b>	<b>36.5 b</b>	<b>7.9</b>	<b>220</b>	<b>7.7</b>	<b>10,271</b>
10	2018	54.7	40.2	8.1	258	8.0	11,528
	2019	46.5 b	33.9 b	7.7	195	7.2	8,592
	<b>Avg.</b>	<b>50.6</b>	<b>37.1 b</b>	<b>7.9</b>	<b>226</b>	<b>7.6</b>	<b>10,060</b>
20	2018	61.7	47.7	8.4	286	8.0	17,662
	2019	51.6 a	38.9 a	7.7	277	7.8	8,443
	<b>Avg.</b>	<b>56.6</b>	<b>43.3 a</b>	<b>8.1</b>	<b>282</b>	<b>7.9</b>	<b>13,053</b>

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P < 0.05$ .

**Table 7.** Effects of miscanthus application on garlic growth and yield.

Application amount (ton/ha)	Year	Plant length (cm)	Leaf length (cm)	Bulb height (cm)	No. of Scale (bulb <sup>-1</sup> )	Bulb weight (g)	Bulb yield (kg/10a)
0 (control)	2018	40.7 b <sup>z</sup>	35.7 b	3.8	8.7	44.1	3,112
	2019	81.5	48.6	4.1	9.1 a	55.0	2,148
	<b>Avg.</b>	<b>61.1 b</b>	<b>42.2 b</b>	<b>4.0</b>	<b>8.9 a</b>	<b>49.5</b>	<b>2,630</b>
10	2018	48.3 a	42.2 a	4.2	8.3	48.1	3,327
	2019	84.7	48.6	4.2	8.3 b	57.2	2,107
	<b>Avg.</b>	<b>66.5 a</b>	<b>45.4 a</b>	<b>4.2</b>	<b>8.3 b</b>	<b>52.7</b>	<b>2,717</b>
20	2018	43.8 ab	38.1 ab	3.9	8.5	46.0	3,326
	2019	85.1	48.4	4.2	7.8 b	53.0	2,475
	<b>Avg.</b>	<b>64.5 a</b>	<b>43.2 b</b>	<b>4.1</b>	<b>8.2 b</b>	<b>49.5</b>	<b>2,901</b>

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P < 0.05$ .

특성에서 차이가 있었다(Table 6). 2019년에는 억새 20톤 시용구가 무시용구나 10톤 시용구에 비해 양파 초장과 엽장이 길었다. 그러나 생육의 차이가 인경 수량에 영향을 미칠 정도는 아니었다.

억새 시용이 마늘의 생육과 수량에 미치는 영향은 양파와 유사한 경향을 보였다(Table 7). 수량은 2,630~2,901 kg/10a 으로서 억새 시용에 따른 영향을 찾을 수 없었고, 초장, 엽장, 인편 수에서는 일부 차이가 발생하였다. 2017년 파종하여 2018년 수확기 생육에서는 억새 10톤 시용구가 초장과 엽장이 가장 길었고, 개체별 인편 수는 억새 시용구가 인경구당 8.2~8.3개였고 대조구는 8.9개로 많았다. 인경구의 크기와 무게 차이 없이 인편 개수만 달라진 것은 인편 형성기 토압(earth pressure) 등의 토양 물리성에 영향을 기인할 것으로 추정된다.

작물별로 다른 수량 반응 차이는 봄에 억새를 시용한 후 분해과정을 거치면서 토양의 이화학성 변화로 앞그루작물의 수량에는 영향을 미쳤으나 뒷그루작물 재배기간인 저온, 건조기에는 처리 영향이 떨어져 양파와 마늘의 수량 차이가 드러나지 않았을 것으로 추정된다.

억새 바이오매스 시용이 토양과 작물에 미치는 영향은 기존 유기질 토양개량제인 벚짚이나 녹비와 다른 점이 있었다. 단점으로는 억새 분해 속도가 느려 작물이 장기간 질소기아에 노출되고 생육초기 한발 스트레스를 더욱 심화시키는 것을 들 수 있다. 장점은 토양을 부드럽게 하고 공극률을 높임에 따라 뿌리작물의 저장조직 발달을 촉진시켰다. 따라서 억새 바이오매스를 토양경도가 높은 경지에 적정량 사용하고 괴근이나 인경을 수확하는 작물을 재배할 경우 다른 토양개량제보다 효과가 장기간 유지될 것으로 보인다.

## 적 요

본 연구는 탄질비(C/N)가 224인 억새 절삭물을 토양에 시용하여 토양을 개선하고 작물 생육을 촉진하고자 ha 당 무시용, 10톤, 20톤을 처리하였다. 그 결과, 토양 유기물 함량이 시험 전 11.0 g·kg<sup>-1</sup>에서 3년 후 최대 16.3까지 증가하였다. 토양 양이온치환용량의 경우 3년 후 최대 15.3 cmol<sub>c</sub>·kg<sup>-1</sup> 까지 증가하였다.

앞그루작물인 단수수는 20톤 시용구가 줄기가 굵었고 주당 착즙량이 60 ml로 가장 많았다. 착즙액량과 착즙액의 가용성고형물 함량을 곱한 수량지수는 억새 10톤 시용구가 1,913으로 가장 높고 20톤 시용구와 대조구가 각각 1,851, 1,839 순이었다. 억새 바이오매스 시용량이 늘어나고 시험 연차가 길어짐에 따라 일시적 비절과 가뭄 피해가 발생하였다. 고구마 지상부 생육은 억새 시용의 영향을 받지 않았다. 상품(marketable) 괴근 수는 억새 20톤 시용구가 대조구와 같은 2.9개였고, 10톤 시용구가 3.6개로 가장 많았다. 억새 20톤 시용구와 대조구의 2년간 평균수량이 각각 2,579 kg/10a, 2,708으로 낮았고 10톤 시용구가 3,289로 가장 많았다.

뒷그루작물인 양파의 경우 억새 시용에 따른 수량 차이는 인정되지 않았으나 억새 20톤 시용구가 무시용구나 10톤 시용구에 비해 양파 초장과 엽장이 길었다. 마늘의 수량은 2,630~2,901 kg/10a 으로서 억새 시용의 영향이 없었고, 억새 10톤 시용구가 초장과 엽장이 가장 길었고, 인편 수는 억새 시용구가 인경구당 8.2~8.3개였고 대조구가 8.9개로 가장 많았다.

본 시험 결과, ha 당 10톤 내외의 억새 바이오매스를 시

용할 경우 토양 개량과 더불어 작물 생육과 수량을 촉진시켜 향후 부존자원인 역세의 가치를 재발견하는 실마리가 될 것으로 보인다.

## 사 사

본 논문은 농촌진흥청 어젠다 사업(과제번호: PJ012577012019)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

## 인용문헌(REFERENCES)

- Ahn, B. K., D. Y. Ko, H. J. Kim, T. B. Kim, H. G. Chon, and Y. G. Kang. 2019. Effects of soil improvement and growth of watermelon on plastic film house by two-year application of *Miscanthus*. *Kor. J. Environ. Agric.* 38(3) : 124-132.
- Atkinson, C. J. 2009. Establishing perennial grass energy crops in the UK: A review of current propagation options for *Miscanthus*. *Biomass and bioenergy* 33 : 752-759.
- Choi, Y. H., B. C. Ku, and Y. R. Cha. 2012. Selection of sweet sorghum and development of production technique with reduction cost. RDA R&D Project Report.
- Dorte Bodin Dresboll, Jakob Magid. 2006. Structural changes of plant residues during decomposition in a compost environment. *Bioresource Technology* 97 : 973-981.
- He, Yangbo, F. Gu, C. Xu, and Y. Wang. 2019. Assessing of the influence of organic and inorganic amendments on the physico-chemical properties of a red soil (Ultisol) quality. *Catena*. 183.
- Hoffland, E., J. W. Groenigen, and O. Oenema. 2010. Nutrient management. Wageningen University, Wageningen, Netherlands.
- Im, J. U., S. Y. Kim, S. H. Jeon, J. H. Kim, Y. E. Yoon, S. J. Kim, and Y. B. Lee. 2017. Potential nitrogen mineralization and availability in upland soil amended with various organic materials. *Kor. J. of Soil Sci. and Fert.* 50 : 40-48.
- Jung, Y. J., I. S. Nou, and K. K. Kang. 2015. Effects of green manure crops on tomato growth and soil improvement for reduction of continuous cropping injury through crop rotation in greenhouse. *Kor. J. of Plant Resources.* 28 : 263-270.
- Kang, J. G., S. H. Lee, K. B. Lee, K. D. Lee, K. H. Gil, and J. H. Ryu. 2014. Effect of cultivation and application of green manure crop on soil physico-chemical properties in Saemangeum reclaimed tidal land. *The J. of the Kor. Soc. of International Agr.* 26 : 54-61.
- Khan, W. D. R., P. M. A. Ramazani, S. Anjum. F. Abbas, M. Iqbal, A. Yasar, M. Z. Ihsan, M. N. Anwar, M. Baqar, H. M. Tauqeer, Z. A. Virk, S. A. Khan, 2017. Potential of miscanthus biochar to improve sandy soil health, in situ nickel immobilization in soil and nutritional quality of spinach. In *Chemosphere* October 185 : 1144-1156.
- Lee, S. H., H. S. Bae, T. H. Song, S. H. Lee, S. A. Hwang, P. Shin, and K. M. Cho. 2014. Determination of effectiveness in productivity of silage barley and soil properties as affected by rice straw application in newly reclaimed tidal land. *Kor. J. of Soil Sci. and Fert.* pp. 199-200.
- Moon, Y. H., B. C. Koo, Y. H. Choi, S. H. Ahn, S. T. Park, Y. L. Cha, G. H. Ahn, J. G. Kim, and S. J. Shu. 2010. *Miscanthus* The promising bioenergy crop. *The Kor. J. of Weed Sci.* 30(2) : 5-9.
- RDA (Rural Development Administration). 2010. *Methods of Soil Chemical Analysis*.
- RDA. 2014. *Sorghum; Agricultural Technology Guide (196)*.
- RDA. 2016. *Onion; Agricultural Technology Guide (96)*.
- RDA. 2017. *Garlic; Agricultural Technology Guide (117)*.
- RDA. 2017. *Sweet potato; Agricultural Technology Guide (208)*.