

Research Article



CrossMark

Open Access

억새 처리에 따른 시설수박 생육과 토양 특성에 미치는 영향

안병구^{1*}, 고도영¹, 김호진², 김태복¹, 전형권¹, 강용구³

¹전라북도농업기술원 연구개발국 농업환경과, ²전라북도농업기술원 연구개발국 작물식품과,
³농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지작물연구소

Effects of Soil Improvement and Growth of Watermelon on Plastic Film House by Soil Treatment of *Miscanthus sinensis*

Byung-Koo Ahn^{1*}, Do-Young Ko¹, Hyo-Jin Kim², Tae-Bok Kim¹, Hyong-Gwon Chon¹ and Yong-Gu Kang³
(¹Agricultural Environment Division, R&D Bureau, Jeollabuk-Do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 54591, Korea, ²Crop and Food Division, R&D Bureau, Jeollabuk-Do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 54591, Korea, ³Bioenergy Crop Research Institute, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Muan 58545, Korea)

Received: 3 September 2019/ Revised: 10 September 2019/ Accepted: 11 September 2019

Copyright © 2019 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Byung-Koo Ahn

<https://orcid.org/0000-0002-6922-9714>

Abstract

BACKGROUND: Silver grass (*Miscanthus sinensis*) No. 1 was developed for production of bio-ethanol, and for the purpose the silver grass growing sector was established in Geumgang basin, Iksan, Jeonbuk, in 2011. However, the other application potentials except for using as the bio-energy resources should be considered because of the drop in international oil prices. Therefore, there is the necessity of a scientific basis to use the silver grass instead of rice straw as the organic matter source that is used for improvement of soil quality in the plastic film house.

METHODS AND RESULTS: The silver grass was applied at 5, 10, 15 and 20 Mg/ha and tilled before the watermelon was planted in the plastic film-house. The control plot was treated with 10 Mg/ha with rice straw, and watermelons have been cultivated for 3 years(2017~2019). Soil aggregation, soil chemistry, and the growth characteristics were investigated, when the watermelon was harvested every year. Soil aggregation levels at the 2nd and 3rd year

of watermelon harvest were similar from the plot applied with the silver grass at 5 Mg/ha and the control plot, and increased in the silver grass treated plots with more than 10 Mg/ha. However, there was no statistically significant difference between the plots. The nitrogen mineralization of silver grass in the control plot tended to be similar to the 5 Mg/ha plot, but the silver grass treated plots with over 10 Mg/ha showed low nitrogen mineralization. Soil EC on harvest stage was proportional to the applied mass of the silver grass, but pH was in inverse with the applied mass. Soil organic matter content, available phosphate, and exchangeable cations increased with the continued use of silver grass. Watermelon weight found to be the best on more than 15 Mg/ha of silver grass, and the sugar content was highest when 10 Mg/ha was treated.

CONCLUSION: The use of the silver grass at 10 Mg/ha annually as the organic source was effective in replacing rice straw while growing fruits and vegetables on the plastic film house.

Key words: Nitrogen mineralization, Plastic film house, Silver grass(*Miscanthus sinensis*), Soil aggregation, Watermelon

*Corresponding author: Byung-Koo Ahn
Phone: +82-63-290-6191; Fax: +82-63-290-6199;
E-mail: ahnbk61@korea.kr

서론

대표적인 바이오에너지 작물인 억새(*Silver grass, Miscanthus sinensis*)는 화본과에 속하는 C4 식물로 기장아과(Panicoideae)의 쇠풀족(Andropogoneae) 억새속(*Miscanthus*)에 속한다. 양분저장과 번식기관은 지하경이고, 저장된 양분으로 겨울을 보내고, 이듬해 봄에 지하경에서 새줄기가 발생하는 특성이 있으며, 광합성 효율과 수분이용 효율이 높아 척박한 환경에서도 잘 자란다. 다년생인 억새는 장기간 연작하면 바이오매스 생산뿐만 아니라 토양 내 탄소 저장과 질소이용 효율이 높아 질소를 사용하지 않고 재배가 가능한 식물이다(Moon *et al.*, 2010).

억새는 우수한 비식량 에너지작물로서 신재생에너지원으로 자격을 갖추고 있다. 열악한 환경에 적응력이 우수하여 신간척지나 황무지 같은 비농경지 활용이 가능하고, 옥수수과 대두 같은 제1세대 바이오에너지작물과 달리 가격변동에 따른 경제성 문제가 없고, 셀룰로오스 함량이 많고 lignin 함량이 낮아 제2세대 바이오에너지 원료로 사용 가능하다는 장점을 가지고 있다(Kim and Kim, 2010; Song *et al.*, 2013).

바이오에탄올 생산 바이오매스는 쌀, 옥수수, 밀, 감자와 같은 전분질계 바이오에탄올과 폐목재, 볏짚, 억새와 같은 셀룰로오스계 바이오에탄올이 있다. 2009년 셀룰로오스계 바이오에탄올 생산을 위해 거대억새 1호를 개발하고 2011년부터 전북 익산 금강유역 184 ha에 생산단지를 조성하여 바이오에탄올 생산연구를 수행해 왔다(Song *et al.*, 2013). 기존 물억새에 비해 건물량이 50% 이상 많을 것으로 예상되는 거대억새 1호는 바이오에탄올 생산뿐만 아니라 다양한 분야에 대한 활용방안을 연구하였다. Song 등(2013)에 따르면 우리나라에서 생산할 수 있는 양은 기존 억새 군락지의 25~33 Mg/ha와 4개 시범단지 생산량 14~24 Mg/ha의 범위를 포함하여 평균 25.8 Mg/ha의 생산성을 기대할 수 있다고 하였다.

Kim 등(1999)에 따르면 억새는 중금속 오염토양 정화에 적용 가능성이 있는 초본류이고, 억새 체내 중금속함량이 다른 식물체에 비해 높은 것으로 나타나 중금속에 대한 내성을 가지고 있으며, 다년생이고, 뿌리 밀도가 높고, 겨울철에도 지하경이 생존하는 점을 들어 중금속오염 지역의 피복 및 정화 식물로 가치가 있다고 하였다. 조성된 억새단지 유입수에 함유되어 있는 질소와 인 등 부영양화물질은 억새의 비료성분이 되어 수질정화가 가능하고, 관광자원으로도 활용 가치가 있으며, Kang 등(2014)이 실시한 생물상 모니터링 결과 주변 농경지에 비해 동물다양성이 풍부했다고 하였다.

이와 같이 바이오에탄올 생산을 위해 개발된 거대억새가

국제유가 하락으로 본래의 목적이 희석되어 다양한 활용방안을 검토해야 할 상황이다. 전북 익산 금강유역에 조성되어 있는 억새단지 주변에 약 1,000여동의 시설재배지에서는 다양한 과채류를 생산하고 있다. 시설재배 농가에서는 토양개량을 위한 유기물원으로써 볏짚을 주로 활용해 왔는데, 볏짚이 조사료화 되면서 조달이 어렵게 되었다. 또한 시중에서 판매되고 있는 유기질비료 공정규격 가운데 유기물이 60~70%로 되어 있어 유기물원으로 유기질비료인 유박비료를 사용하는 농가가 증가하고 있다. 유기질비료는 무기질비료 효과가 있고, 대부분 원료를 수입하여 제조하고 고가에 판매되고 있어 시설내 염류집적 및 생산비 증가라는 문제점을 가지고 있다.

바이오에탄올 생산용으로 개발한 거대억새를 농업적으로 활용방안을 찾기 위한 일환으로 거대억새가 볏짚과 유박비료를 대신할 수 있는지 검토할 필요가 있다. Lim 등(2011)은 유박비료는 질소공급원으로 우수하지만, 토양물리성 개선효과는 없고, 볏짚과 같은 신선한 유기물은 용적밀도, 토양입단 등과 같은 물리성 개량효과가 뛰어나다고 보고하였다. 억새 낙엽의 유기탄소가 50%, 95%, 99%로 분해되어 무기화되는데 각각 0.9년, 4.0년, 6.7년이 소요된다(Chang *et al.*, 1976)고 하여 억새는 우수한 토양개량제가 될 수 있다고 본다.

따라서 본 연구는 거대억새를 시설재배지에서 볏짚을 대체할 수 있는지 효과를 검토하여 시설재배지 토양 비옥도를 유지·증진시키고, 시설재배 농가에 억새 활용방법을 제시하고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험재료 및 처리내용

거대억새를 활용하여 시설재배지에서 볏짚을 대체할 수 있는지를 검토하기 위해 전북 익산시 용동면 구산리 농가 포장에서 매년 같은 처리 조건으로 동일 시험구에서 2017~2019년까지 3년간 수행하였다. 시험에 사용한 포장의 토성은 만경통의 미사질식양토(모래 17.0%, 미사 55.4%, 점토 27.6%)이고, 용적밀도 1.12 g/cm³, 고상 41.8%, 액상 34.1%, 기상 24.1%이었으며, 화학적 특성은 Table 1과 같다. 답전윤환한지 2년이 경과한 시설하우스로 비료성분이 집적되어 있지는 않았지만, 밭으로 사용하기에 점토함량이 많은 편이었다.

시험에 사용한 거대억새는 매년 농촌진흥청 식량과학원에서 사일리지 형태로 수확하여 1년 경과한 것을 분양받아 사용하였다. 시험기간 동안 사용한 거대억새 성분의 평균값은 Table 2에서 보는 바와 같다.

Table 1. Selected chemical properties of soil in the experimental field

Item	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Avail. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cation (cmol _c /kg)				T-N (%)
					K	Ca	Mg	Na	
Before planting	6.4	0.42	20	68	0.03	3.4	0.9	0.16	0.93
Optimal range	5.5~6.5	2 >	20~30	80~120	0.2~0.3	5.0~6.0	1.5~2.0	-	-

Table 2. Chemical components of silver grass used

C	N	P	K	Ca	Mg	S
----- %, dw -----						
44.8	0.20	0.05	0.34	0.01	0.09	0.02

시험구는 농가에서 유기물원으로 가장 많이 사용하는 볏짚을 10 Mg/ha 수준으로 처리한 구를 대조구로 하였고, 거대역새는 농촌진흥청 식량과학원에서 매년 분양받아 5, 10, 15, 20 Mg/ha 수준으로 처리하였고, 시험구는 단구제로 배치하였으며, 각 시험구 크기는 165 m²이었다. 거대역새 처리는 매년 수박 정식 30일전에 처리구 전면에 살포하고 경운하였다. 모든 처리구의 시비량은 작물별 시비처방기준(RDA, 2010)에 따라 수박 표준시비량(N-P₂O₅-K₂O=13.8-4.9-8.7 kg/10a)에 대해 토양검정에 의한 시비추천량에 해당하는 양을 질소는 요소, 인산은 용성인비, 칼리는 염화칼리로 처리하였다. 질소는 밀거름으로 40%, 웃거름은 20%씩 3회 시비하였고, 인산은 전량 밀거름, 칼리는 50%를 밀거름, 나머지 50%는 2회 나누어 웃거름으로 처리하였다. 매년 수박은 3월 10일경에 35 x 210 cm 간격으로 정식하였고, 품종은 퍼스트꿀((주) 제농 농업회사법인)이었고, 재배관리는 표준재배법에 따라 수행하였다.

토양 및 식물체 분석

거대역새 처리에 따른 토양입단화 정도를 조사하기 위해 2, 3년차 수박 수확기에 조심스럽게 토양을 채취하여 그늘에서 건조한 다음 4 mm 이상의 자갈은 제거하고, 2 mm 체에 남아있는 시료를 Yoder형 습식사별 진탕기를 이용하여 입단 크기(2, 1, 0.5, 0.25, 0.1 mm) 분포도를 측정하였다.

토양 물리화학성은 역새 투입 전과 수박 수확기에 표토 0 ~ 20 cm 깊이의 토양을 채취하여 그늘에서 자연 건조시킨 후 2 mm 체를 통과시켜 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법(RDA, 2000)과 토양화학분석법(RDA, 2010)에 따라 분석을 실시하였다. 즉, 토성은 micro pipette법으로 입자밀도를 조사하고, 판정은 미국농무부 분류기준에 준하였다(Gee and Bauder, 1986). 토양 pH는 토양과 증류수를 1:5(w/v)로 혼합하여 30분간 진탕한 후 pH meter(Orion3 star, Thermo Scientific, Singapore)로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법, 전 질소는 Kjeldahl 증류법을 이용하였고, 유효인산은 Lancaster 법으로 측정하였다. 교환성 K, Ca, Mg, Na은 1 N ammonium acetate로 침출한 후 AAS (Atomic absorption spectrophotometer, Avanta PM, GBC Scientific Equipment Pty Ltd., Victoria, Australia)로 분석하였다.

거대역새 분석은 채취한 시료를 65℃에 48시간 건조하여 분쇄한 후 분석용 시료로 사용하였다. 시료 1 g을 HNO₃과 H₂O₂을 사용하여 습식분해한 후 인산은 ammonium vanadate법에 의한 비색정량, K, Ca, Mg는 AAS를 이용하여 분석하였고, 질소 함량은 CN원소분석기(Vario MAX CNS, Elementar

Analysensysteme GmbH, Germany)을 사용하여 분석하였다.

거대역새 무기화율 평가

시설토양에 투입한 거대역새의 무기화율을 추정하기 위해 Stanford and Smith(1972)가 제시한 방법에 따라 수행하였다. 시험에 사용한 시설재배지 토양 200 g에 역새를 처리내 용과 같은 수준으로 혼합하여 0.45 um cellulose acetate membrane 필터가 부착되어 있는 용기에 수분을 포장용수량의 65% 수준으로 조절하고 25℃ 항온기에서 18주 동안 항온하면서 1주일 간격으로 시료를 채취하였다. 무기화율 추정 시료는 0.01 M CaCl₂ 100 mL를 첨가하고 진공펌프를 이용하여 추출하고, 질소가 포함되지 않은 용액(N-free solution: 0.002 M CaSO₄·2H₂O, 0.002 M MgSO₄, 0.005 M Ca(H₂PO₄)·2H₂O, 0.0025 M K₂SO₄) 50 mL를 넣고 과잉의 무기영양액을 제거하고 다시 항온상태를 유지하였다. 각 시기별로 추출한 용액은 Flow injection analyzer(SMART CHEM 170, AMS Alliance, Italy)를 이용하여 암모니아성 질소와 질산성 질소를 측정하였다.

통계분석

조사한 자료의 통계적인 분석은 SPSS(19.0K)를 사용하여 5% 수준에서 Duncan's multiple range test를 실시하였다.

결과 및 고찰

토양입단화

시설재배지 토양개량을 위해 농가에서 주로 사용하고 있는 볏짚을 거대역새로 대체할 수 있는지 가능성을 검토하기 위해 매년 거대역새를 토양에 처리하고 수박을 재배한 후 2, 3년차에 수박을 수확하면서 처리구별로 5반복으로 토양을 채취하여 앞에서 제시한 방법에 따라 입단분포도를 조사하였다. 수박재배 1년차인 2017년도에는 수확기에 시료를 채취하기 전에 경운이 이루어져 조사가 이루어지지 않았다. Table 3에서 보는 바와 같이 2년차 수확기 토양입단 크기가 2 mm 이상인 비율은 처리구간에 차이가 없었지만, 입단크기가 작아지면서 차이가 있었다. 총 누적입단 비율로 보면 볏짚을 처리한 대조구와 거대역새 5 Mg/ha 처리구는 32.7~32.8%로 같은 수준을 보였고, 거대역새 10 Mg/ha 이상 처리구는 36.5~37.4%로 같은 수준을 보였다.

시험 3년차(2019) 조사에서는 2년차와 비교해서 입단 크기별로 0.25~0.5 mm 비율을 제외하고 다른 결과를 보였지만, 총 누적입단비율은 같은 경향을 보였다(Table 4). 다만

Table 3. Distribution of aggregate size at harvest stage as influenced by different amounts of silver grass application in 2018

Treatment (Mg/ha)	Size of aggregates(mm)					Total aggregates (%)
	>2.0	2.0~1.0	1.0~0.5	0.5~0.25	<0.1	
	----- % -----					
Control	0.7a*	3.8ab	4.5b	10.1b	13.7b	32.8b
5	0.6a	3.3b	4.0b	9.8b	15.0a	32.7b
10	0.6a	4.6a	5.3ab	11.7a	14.3b	36.5a
15	0.6a	3.3b	5.8a	12.0a	15.2a	36.9a
20	0.7a	4.5a	5.5a	12.8a	13.9b	37.4a

* Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different(Duncan test, $p < 0.05$).

Table 4. Distribution of aggregate size at harvest stage as influenced by different amounts of silver grass application in 2019

Treatment (Mg/ha)	Size of aggregates(mm)					Total aggregates (%)
	>2.0	2.0~1.0	1.0~0.5	0.5~0.25	<0.1	
	----- % -----					
Control	0.5b*	2.4bc	6.2a	9.4b	14.6b	33.1b
5	0.4b	3.5b	5.8ab	8.5b	13.0c	31.1b
10	0.5b	5.1a	5.4b	13.4a	16.6a	41.0a
15	0.4b	5.6a	6.5a	13.3a	15.3a	41.1a
20	0.7a	5.8a	7.1a	13.5a	14.3b	41.4a

* Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different(Duncan test, $p < 0.05$).

입단이 만들어진 비율은 거대억새 10 Mg/ha 이상 처리구에서 4.0~4.5% 증가하여 거대억새 투입량을 10 Mg/ha 이상 연용하는 경우 입단화 증가에 기여한 효과가 있었다. 그러나 간척지에서 토양개량제의 입단형성 효과를 검토한 Baek 등 (2010)은 유기물함량이 많을수록 소형입단보다 대형입단 형성량이 증가한다고 하였지만, 본 연구에서는 거대억새 투입량이 많아도 대형입단 형성량이 증가하지 않았다. 이는 시설재배지의 경우 토양수분 변화가 크기 때문에 노지보다 입단형성량이 많지 않은 것으로 판단된다. Son과 Cho (2009)는 이탈리아 라이그라스와 같은 신선유기물을 처리할 경우 입단 발달이 양호하고 입단의 중량평균직경이 커진다고 하여 본 시험에 사용한 억새도 같은 효과가 있었을 것으로 보여진다.

토양 중 거대억새 질소 무기화

토양개량제로 처리되는 거대억새가 토양 중에서 무기화되는 질소를 조사하기 위해 처리량과 같은 수준으로 억새를 처리한 토양을 25℃에서 배양하면서 1주일 간격으로 무기질소량을 측정하였다(Fig. 1). 처리구 모두 2주까지 증가했다가 감소하는 경향을 보였고, 대조구는 7주, 거대억새 5와 10 Mg/ha 처리구는 5주, 15와 20 Mg/ha 처리구는 4주까지 감소하다 증가하기 시작했고, 12주 이후에는 모든 처리구가 같은 수준을 보였다. 탄질율(C/N율)이 낮은 유기자재(유박, 헤

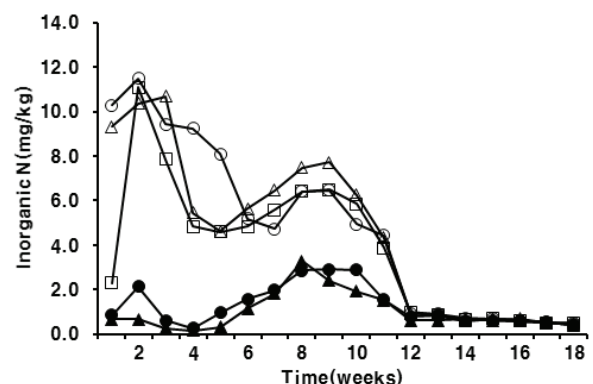


Fig. 1. Nitrogen mineralization($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) patterns from different amounts of silver grass application during incubation at 25℃. ○, control; △, silver grass 5 Mg/ha; □, silver grass 10 Mg/ha; ●, silver grass 15 Mg/ha; ▲, silver grass 20 Mg/ha.

어리베치)는 처리후 1~2주째 가장 높은 질소 무기화량을 보였고, 탄질율(C/N율)이 높은 풋겨름보리는 6주째에 가장 높았다는 보고(Im *et al.*, 2017)와 비슷한 경향을 보였다.

무기질소는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 와 $\text{NO}_3\text{-N}$ 을 측정하였는데 4주부터 $\text{NH}_4\text{-N}$ 는 검출되지 않았다. 이 기간 동안 측정된 $\text{NH}_4\text{-N}$ 는 대조구 0.93 mg/kg, 거대억새 5 Mg/ha 처리구 1.07 mg/kg,

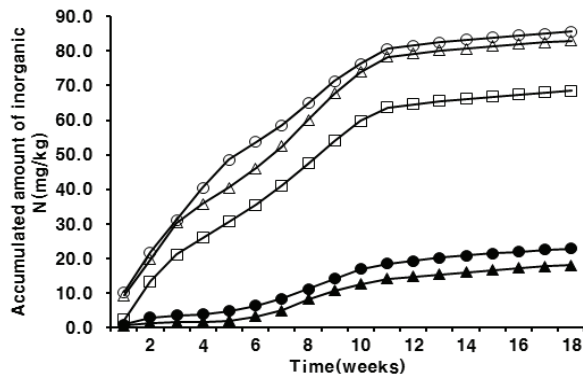


Fig. 2. Accumulated amount of inorganic N from different amounts of silver grass application during incubation at 25°C. ○, control; △, silver grass 5 Mg/ha; □, silver grass 10 Mg/ha; ●, silver grass 15 Mg/ha; ▲, silver grass 20 Mg/ha.

10 Mg/ha 처리구 0.83 mg/kg, 15 Mg/ha 처리구 0.73 mg/kg, 20 Mg/ha 처리구 0.61 mg/kg으로 거대역새 처리량과 반비례 관계를 보였다.

Fig. 2는 18주 동안 역새 질소 무기화량을 누적량으로 표시한 것이다. 대조구와 거대역새 5 Mg/ha 처리구의 무기질소화량은 각각 85.6와 83.0 mg/kg으로 비슷한 양으로 나타났고, 거대역새 처리구에서는 처리량이 많아질수록 무기질소화량은 점점 감소하였다. 특히 거대역새 15와 20 Mg/ha 처리구의 최종 누적량은 22.9와 18.1 mg/kg으로 대조구의 26.8과 21.2% 수준으로 나타나 질소고정화가 일어남을 알 수 있었다(Shin *et al.*, 2016). 유기자원의 질소무기화는 탄질율(C/N율)과 밀접한 관련이 있기 때문에(Probert *et al.*, 2005) 탄질율(C/N율)이 낮은 대조구나 거대역새 5 Mg/ha 처리구의 질소무기화량이 상대적으로 높았고, 탄질율(C/N율)이 높은 거대역새 15와 20 Mg/ha 처리구의 무기태 질소량이 낮았다.

토양에 투입된 유기물이 분해되어 질소 무기화가 이루어지는 것은 탄질율(C/N율)과 토양 중 질소함량에 따라 차이가 있지만, 상당량은 미생물에 의해 부동화가 일어난다(Mueller *et al.*, 1998). 특히 탄질율(C/N율)이 25 이상인 유기물이 투입되면 미생물과 식물간에 질소경쟁이 발생한다(Wagner and Wolf, 1999). Enwezor (1976)는 탄질비(C/N)가 무기화에 미치는 영향에 대한 연구에서 탄질율(C/N율)이 20~30범위일 때 무기화와 유기화가 균형을 이룬다고 하였다. 따라서 본 시험에서도 거대역새 10 Mg/ha 이상 처리구에서는 탄질율(C/N율)이 높아 질소경쟁이 심했을 것으로 판단된다.

토양화학적 변화

시험기간 동안 매년 같은 처리구에 같은 양의 거대역새를 처리하고, 수박을 수확 할때마다 조사한 토양특성은 Fig. 3, 4, 5, 6에서 보는 같이 변화가 있었다. 수확기 마다 조사한 EC는 Fig. 3에서 보는 같이 1년차는 정식전(0.42 dS/m)에 비해 약 3배 증가한 1.27~2.01 dS/m로 대조구가 가장 많이

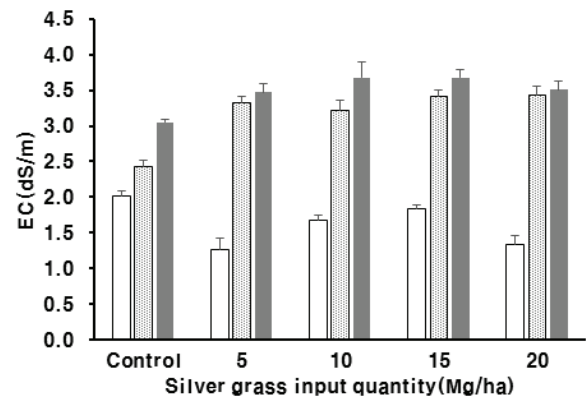


Fig. 3. Changes of EC at harvest stage as influenced by different amounts of silver grass application. □, 2017; ▤, 2018; ■, 2019. Bars represent one standard deviation of the mean.

증가하였다. 2년차에는 대조구가 가장 낮았고, 역새 처리구는 처리량과 비례관계가 있었다. 3년차에도 2년차와 비슷한 경향을 보였다.

토양에 유기물이 가해지면 탄질율(C/N율)에 따라 EC 값에 영향을 미친다. 탄질율(C/N율)이 낮은 유기물이 투입되면 무기화되면서 질산성 질소와 같은 무기이온으로 전환되어 토양내 EC 값에 영향을 준다. 탄질율(C/N율)이 높은 유기물이 투입되면 토양의 염류활성도를 낮추어 EC 값을 저감하는 효과 있다(Lee *et al.*, 2009). 본 시험에서도 탄질율(C/N율)이 22.4인 역새를 투입함으로써 EC 값이 크게 감소할 것으로 기대했으나, 시설재배 작물 가운데 특히 수박은 수확 시기가 다가오면 당도를 올리기 위해 단수를 하기 때문에 전체적으로 토양 EC가 올라가는 현상이 있었다고 판단된다. 또한 수용성 음이온 농도가 EC에 가장 많은 영향을 미치지만, 시설재배지 토양과 같이 염류가 집적되는 토양에서는 양이온도 EC에 영향을 미칠 수 있다(Anderson and Sposito, 1992; Ha *et al.*, 1997). 따라서 Fig. 6에서 보는바와 같이 2, 3년차에 교환성 Ca과 Mg이 증가한 것으로 나타나 수확기 토양 중 EC 값에 영향이 있었다고 볼 수 있다.

토양 pH는 벼짚을 처리한 대조구는 증가하는 경향을 보였지만, 거대역새 처리구는 거대역새를 연용함에 따라 감소하는 경향을 보였다(Fig. 4). 양이온이 토양에 집적되면 일반농경지에 비해 pH가 높아져 알칼리화가 되는데(Kang *et al.*, 2011) 본 연구에서는 교환성 Ca과 Mg이 적정범위보다 높아졌음에도 pH는 증가하지 않았다. 이는 탄질율(C/N율)이 높은 거대역새 처리에 따라 pH에 영향을 주는 음이온량이 적었기 때문이다.

수박 수확기 토양유기물함량은 1, 2년차에는 차이가 없었지만, 3년차는 처리구별로 1~3 g/kg 수준으로 증가하였다. 거대역새 처리량이 15~20 Mg/ha인 처리구의 유기물함량 증가 폭이 클 것으로 기대했지만, 모든 처리구의 질소시비량이 같은 수준이어서 거대역새의 부식화가 덜 이루어진 것으로 나타났다.

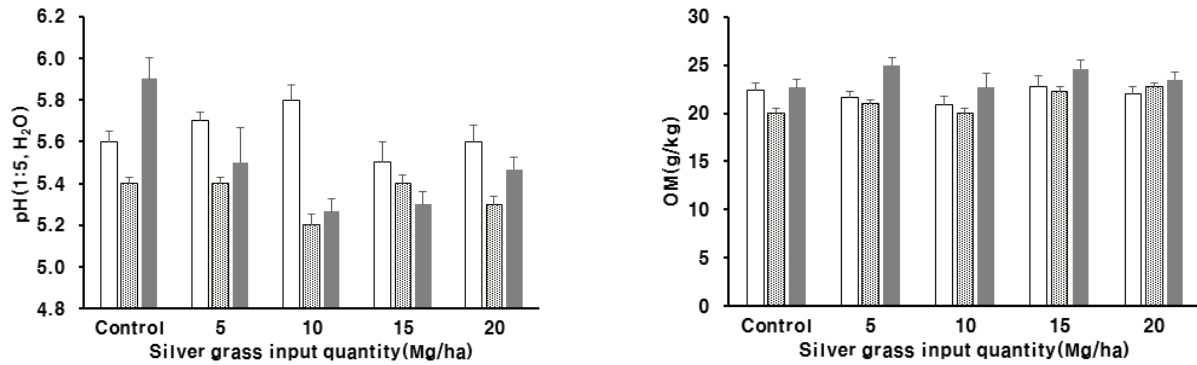


Fig. 4. Changes of soil pH and soil organic matter content at harvest stage as influenced by different amounts of silver grass application. □, 2017; ▨, 2018; ■, 2019. Bars represent one standard deviation of the mean.

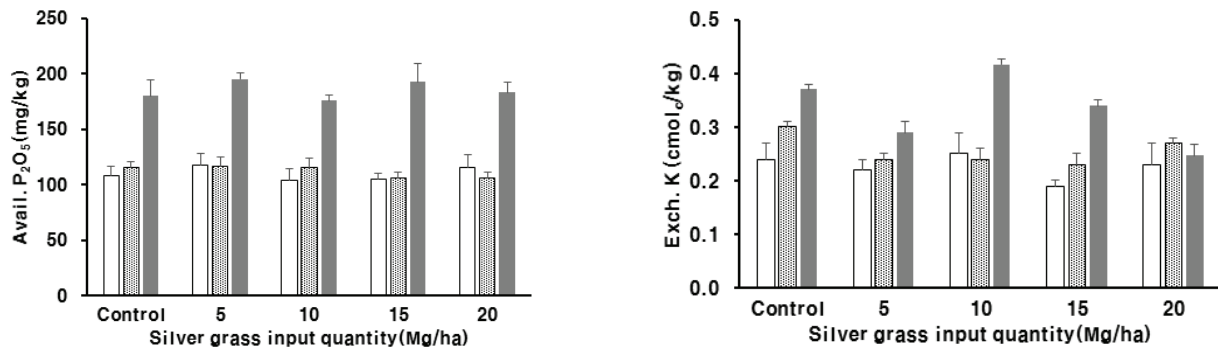


Fig. 5. Changes of available P₂O₅ and exchangeable K content at harvest stage as influenced by different amounts of silver grass application. □, 2017; ▨, 2018; ■, 2019. Bars represent one standard deviation of the mean.

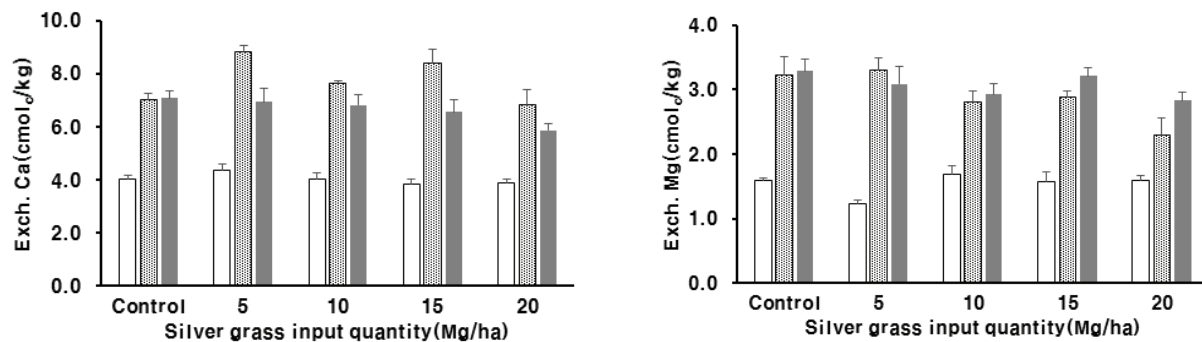


Fig. 6. Changes of exchangeable Ca and Mg content at harvest stage as influenced by different amounts of silver grass application. □, 2017; ▨, 2018; ■, 2019. Bars represent one standard deviation of the mean.

Fig. 5는 수박 수확기 토양 중 유효인산함량과 교환성 K 변화를 나타낸 것이다. 거대역새를 처리한 1년차의 유효인산 함량은 104~118 mg/kg, 2년차는 106~116 mg/kg으로 년 차간, 처리구간에 차이가 크지 않았다. 그러나 3년차에는 176~195 mg/kg으로 증가하였고, 대조구와 거대역새 10과 20 Mg/ha 처리구는 같은 수준을 보였다.

교환성 Ca은 1년차에 3.84~4.37 cmol_c/kg으로 처리간에

차이가 없었지만, 2년차에 모두 6.83~8.82 cmol_c/kg 수준으로 증가하였고, 3년차는 2년차에 비해 감소하는 경향을 보였다(Fig. 6). 특히 3년차는 대조구가 가장 높았고, 거대역새 처리구는 처리량과 반비례 관계를 나타냈다. 교환성 Mg은 교환성 Ca과 마찬가지로 1년차에 비해 2년차에는 크게 증가하였고, 3년차는 2년차와 비슷하였다.

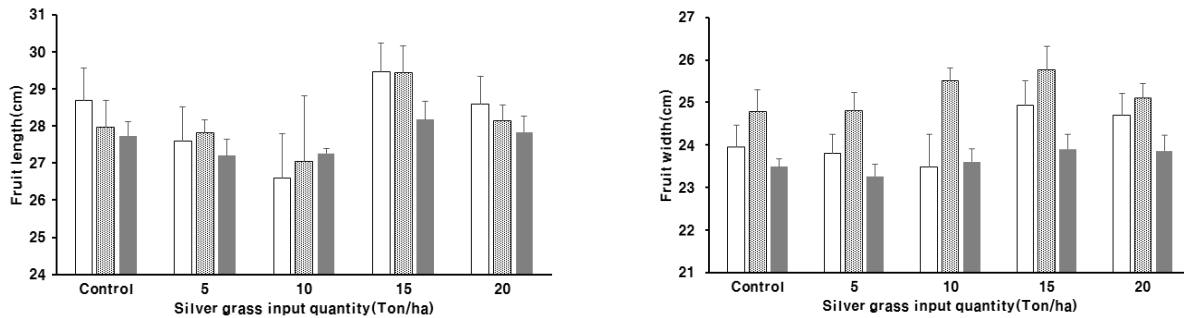


Fig. 7. Changes of fruit length and fruit width of watermelons at harvest stage as influenced by different amounts of silver grass application. □, 2017; ▨, 2018; ■, 2019. Bars represent one standard deviation of the mean.

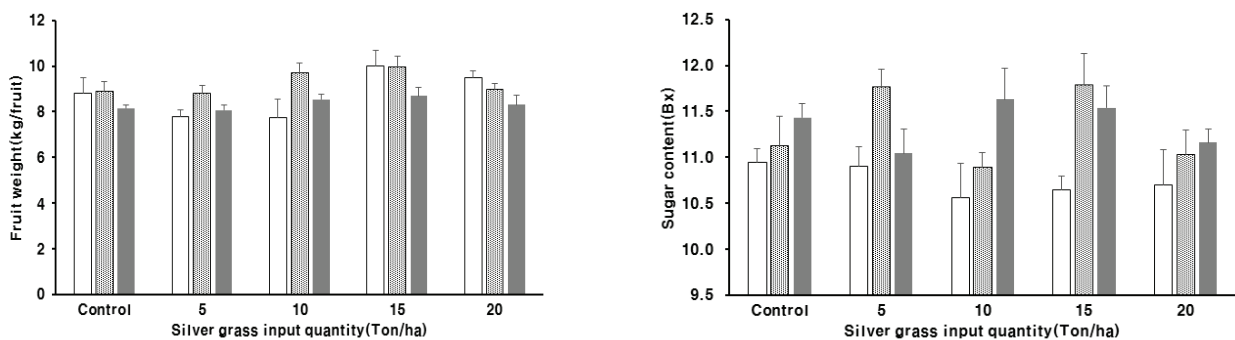


Fig. 8. Changes of fruit weight and sugar content of watermelons at harvest stage as influenced by different amounts of silver grass application. □, 2017; ▨, 2018; ■, 2019. Bars represent one standard deviation of the mean.

수박 수량 특성

수박을 수확하면서 수량특성과 당도를 조사하기 위해 절반으로 절단하여 과일의 길이와 폭을 조사하였다(Fig. 7). 시험년도별로 살펴보면 1, 2년차 과일의 길이는 거대역새 15 Mg/ha 처리구가 가장 길었고, 10 Mg/ha 처리구가 가장 짧았으며, 나머지 처리구는 차이가 없었다. 그러나 3년차에서는 거대역새 15 Mg/ha 처리구가 가장 길었고, 5 Mg/ha 처리구가 가장 짧았다. 과일의 폭은 시험기간 동안 연도별로 처리구에 따라 통계적인 유의성은 없었다.

시험기간 동안 수확기 수박 과중과 당도변화는 Fig. 8에서 보는 바와 같이 시험 1년차 과중은 거대역새 15와 20 Mg/ha 처리구가 가장 무거웠고, 10 Mg/ha 처리구가 가장 가벼웠다. 2년차에는 거대역새 15 Mg/ha 처리구를 제외하고 차이가 없었으며, 3년차는 처리구간에 통계적인 유의성이 없었다. Ahn 등(2010)의 연구에서도 시설재배지에 벚짚을 5, 10, 15 Mg/ha으로 처리하고 수박을 재배했을 때 10 Mg/ha 수준에서 과중이 가장 무거웠다고 하였다. Kang 등(2011)은 토양 EC 값을 2.01, 4.93, 7.90 dS/m 수준으로 조절한 처리구에서 과중은 EC가 낮은 곳에서 더 무거웠고, 탄질율(C/N율) 처리간에는 차이가 없었다고 하였지만, 본 연구에서 탄질율(C/N율)이 높은 곳에서 과중이 무거워 수박의 과중은 EC나 탄질율(C/N율)보다는 토양물리성 개선에 의한 영향이 더 큰

것으로 판단된다.

당도의 경우 1년차에는 처리구간에 차이가 없었지만, 2년차는 거대역새 5와 15 Mg/ha 처리구가 11.8 Bx로 같은 수준이었고, 나머지 처리구는 10.9~11.1 Bx를 보였다. 3년차는 통계적으로 거대역새 10 Mg/ha 처리구가 11.6 Bx로 가장 높았고, 5 Mg/ha 처리구가 11.0 Bx로 가장 낮았지만 처리구 간에 당도 차이는 크지 않았다.

이상의 결과에서 시설재배지 토양입단화에 영향을 미칠 수 있는 거대역새 처리량은 10 Mg/ha 이상으로 나타났지만, 이때 질소량을 늘리지 않으면 미생물과 작물의 질소경쟁이 심해질 수 있다. 거대역새는 탄질율(C/N율)이 높지만 시설재배지 EC 값을 증가시킬 수 있고, 토양 pH는 감소시키는 효과가 있었다. 거대역새를 3년 이상 연용할 경우 토양유기물함량, 토양 중 유효인산과 교환성 양이온이 증가하였다. 거대역새 처리량을 15 Mg/ha 이상 처리시 과중을 늘릴 수 있고, 10 Mg/ha 처리시 당도가 가장 높게 나타났다. 따라서 거대역새를 10 Mg/ha으로 사용할 경우 농가에서 사용하고 있는 벚짚을 충분히 대체할 수 있을 것으로 판단된다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This research was supported by Rural Development Administration (Project No. PJ012577032019), Republic of Korea.

References

- Ahn, B. K., Lee, Y. H., & Lee, J. H. (2010). Fertilizer management practices with rice straw application for improving soil quality in watermelon monoculture greenhouse plots. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 43(1), 75-82.
- Anderson, S. J., & Sposito, G. (1992). Proton surface-charge density in soils with structural and pH-dependent charge. *Soil Science Society of America Journal*, 56(5), 1437-1443.
- Baek, S. H., Kim, J. Y., Lee, S. U., & Kim, S. J. (2010). Influence of continuous application of gypsum, popped rice hull, and zeolite on soil aggregation of reclaimed sandy loam soils. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 43(5), 764-769.
- Chang, N. K., Lim, M. K., & Yun, I. S. (1976). Studies on the gross metabolism of carbon in a grassland of *Miscanthus sinensis*. *Journal of Animal Science and Technology*, 18(3), 231-236.
- Enwezor, W. O. (1976). The mineralization of nitrogen and phosphorus in organic materials of varying C:N and C:P ratios. *Plant and Soil*, 44(1), 237-240.
- Gee G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. In Klute A. (2nd ed.). *Methods of soil analysis. Part I* pp. 383-411, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Ha, H. S., Lee, Y. B., Sohn, B. K., & Kang, U. G. (1997). Characteristics of soil electrical conductivity in plastic film house located in southern part of Korea. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 30(4), 345-350.
- Im, J. U., Kim, S. Y., Jeon, S. H., Kim, J. H., Yoon, Y. E., Kim, S. J., & Lee, Y. B. (2017). Potential nitrogen mineralization and availability in upland soil amended with various organic materials. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 50(1), 40-48.
- Kang, B. G., Lee, S. Y., Lim, S. C., Kim, Y. S., Hong, S. D., Chung, K. Y., & Chung, D. Y. (2011). Establishment of application level for the proper use of organic materials as the carbonaceous amendments in the greenhouse soil. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 44(2), 248-255.
- Kang, K., Hong, S. G., Ji, K. J., Choi, J. Y., Lee, H. H., Kim, H. J., & Park, S. J. (2014). Monitoring biota in giant *Miscanthus* fields. *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers*, 56(1), 89-99.
- Kim, J. G., Lim, S. K., Lee, S. H., Lee, C. H., & Jeong, C. Y. (1999). Evaluation of heavy metal pollution and plant survey around inactive and abandoned mining areas for phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 18(1), 28-34.
- Kim, K. S., & Kim, J. S. (2010). Optimization of ammonia percolation process for ethanol production from *Miscanthus sinensis*. *Korean Chemical Engineering Research*, 48(6), 704-711.
- Lee, S. B., Lee, C. H., Hong, C. O., Kim, S. Y., Lee, Y. B., & Kim, P. J. (2009). Effect of organic residue incorporation on salt activity in greenhouse soil. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 28(4), 397-402.
- Lim, T. J., Park, J. M., Lee, S. E., Jung, H. C., Jeon, S. H., & Hong, S. D. (2011). Optimal application rate of mixed expeller cake and rice straw and impacts on physical properties of soil in organic cultivation of tomato. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 30(2), 105-110.
- Moon, Y. H., Koo, B. C., Choi, Y. H., Ahn, S. H., Bark, S. T., Cha, Y. L., An, G. H., Kim, J. K., & Suh, S. J. (2010). Development of *Miscanthus* the promising bioenergy crop. *Korean Journal of Weed Science*, 30(4), 330-339.
- Mueller, T., Jensen, L. S., Nielsen, N. E., & Magid, J. (1998). Turnover of carbon and nitrogen in a sandy loam soil following incorporation of chopped maize plants, barley straw and blue grass in the field. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(5), 561-571.
- Probert, M. E., Dolve, R. J., Kimani, S. K., & Dimes, J. P. (2005). Modeling nitrogen mineralization from manure: representing quality aspects by varying C:N ratio of sub-pools. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(2), 279-287.
- Shin, J. H., An, N. H., Lee, S. M., Ok, J. H., & Lee, B. W. (2016). Estimation of N mineralization potential and N mineralization rate of organic amendments as affected by C:N ration and temperature in paddy soil. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 49(6), 712-719.
- Son, J. G., & Cho, J. Y. (2009). Effect of organic material treatments on soil aggregate formation in reclaimed tidelands. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 42(3), 201-206.
- Song, Y. H., Kong, K. S., & Park, J. W. (2013). An economic analysis of giant *Miscanthus* for bioenergy crop. *Korean Journal of Agricultural Management and Policy*, 40(4), 1017-1036.

Stanford, G., & Smith, S. J. (1972). Nitrogen mineralization potentials of soils 1. *Soil Science Society of America Journal*, 36(3), 465-472.

Wagner, G. H., & Wolf, D. C. (1999). Carbon transformations

and soil organic matter formation. *Principles and Applications of Soil Microbiology* (eds. Sylvia, D. M., Fuhrmann, J. J., Hartel, P. G., Zuberer, D. A.), pp. 218-258, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.