

ORIGINAL ARTICLE

새만금간척지에서 거대억새 투입 후 분해 특성 및 감자 재배를 위한 적정 질소시비수준 평가

오양열* · 정강호 · 이수환 · 이광승 · 서보성 · 김길용¹⁾

농촌진흥청 국립식량과학원, ¹⁾전남대학교 농화학과

Using Eeclaimed Land for Potato Cultivation in Saemangeum, South Korea: Determining the Optimal Nitrogen Fertilization Rate with the Giant Miscanthus used as a Source of Soil Organic Matter

Yang-Yeol-Oh*, Kang-Ho-Jeong, Su-Hwan-Lee, Kwang-Seung-Lee, Bo-Seong-Seo, Kil-Yong Kim¹⁾

Division of Crop Foundation, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

¹⁾Institute of Environmentally-Friendly Agriculture, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

Abstract

To restore reclaimed land, it needs to be supplemented with organic matter; this is especially true for Korea, where organic matter constitutes only one-tenth of conventional agricultural soils. The giant Miscanthus, a perennial grass known for its extensive biomass, shows signs of being an excellent source of organic matter for restoring reclaimed land. Therefore, the objectives of this study were to (i) evaluate the feasibility of using the giant miscanthus as an organic resource within the context of re-using reclaimed land for agricultural purposes (i.e., potato cultivation), and (ii) determine the optimum fertilization rate for the potatoes while the giant miscanthus is being used as an organic resource. Our results show that after 180 days, giant miscanthus lost 23-47% of its original dry weight, with the extent of the loss dependent on soil salinity. Nutrient concentrations (Mg²⁺, Na⁺) continued to increase until the end of the study period. In contrast, potassium (K⁺) and the ratio of carbon to nitrogen (C/N) decreased until the end of the study period. Specifically, after 180 days, low salinity topsoil treatments had the lowest C/N ratio. In the first year, 150 % of standard N rates were required for the potatoes to achieve maximum productivity; however in the 2nd year, standard rates were sufficient to achieve maximum productivity. Overall, this implies that even though the application of giant miscanthus did eventually improve soil quality, increasing crop yields, N fertilization is still necessary for the best outcomes.

Key words : Decomposition, *Miscanthus*, Organic resources, Potato, Reclaimed land

1. 서론

일반적으로 토양에서 모래 함량이 많은 토성들은 낮은 수분 보유력과 토양 무구조뿐만 아니라 비옥도와 유기물 함량이 낮다(Vityakon, 2007). 특히 새로 조성된

간척지는 제염이 된 이후에도 토양유기물 함량이 4.5-10.8 g kg⁻¹의 범위로 일반 농경지에 비해 매우 낮다(Lee et al., 2008). 이를 해결하기 위한 유기자원 투입은 유기탄소나 양분을 증가시키고 잠재적으로 토양 비옥도나, 유기물, 미생물 군집 등을 향상시킬 수 있다

Received 14 August, 2022; Revised 2 November, 2022;

Accepted 7 November, 2022

*Corresponding author : Yang Yeol Oh, National Institute of Crop Science, Wanju 55365, Korea
Phone : +82-63-238-5317
E-mail : nubira7777@korea.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© 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.

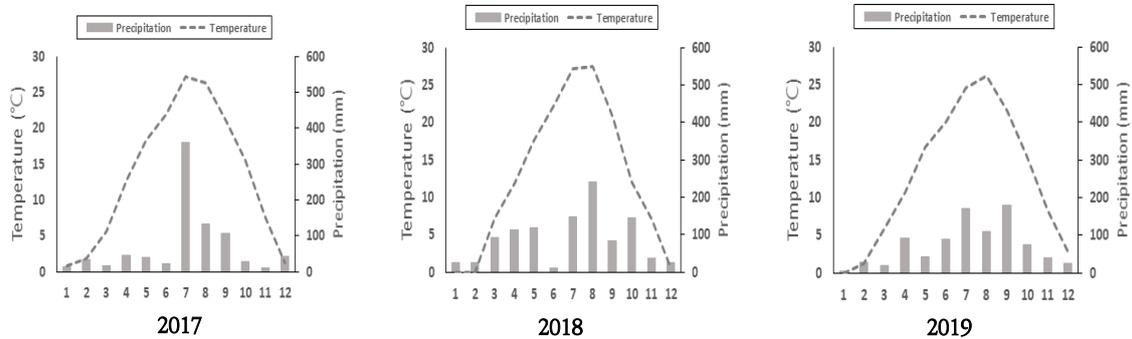


Fig. 1. The monthly average temperature (°C) and the monthly accumulative precipitation (mm) in the experiment field during 2018 to 2019.

(Lal, 2004; Powlson et al., 2008). 특히 척박한 토양에서 유기물의 적정 수준 유지는 작물의 지속가능한 생산을 위해서 토양 개선이나 기후 변화 위기 극복 등을 위한 매우 중요한 전략이다(Chen and stephen, 2006).

역새는 화분과 중 C4 광합성 경로를 가진 식물군인 기장아과(*Panicoidae*)의 쇠풀족(*Andropogoneae*) 역새속(*Miscanthus*)에 속하고 매년 바이오매스를 수확할 수 있으며, 20년 이상 자라는 다년생 작물이다(Ahn et al., 2019; Beuch et al., 2000). 우리나라에서는 바이오에너지용으로 사용하기 위해 염색체 수가 76개인 거대역새 1호를 개발하였다. 이 작물은 간장이 4 m 내외, 경태가 9.6 mm이며 일반 물역새보다 2배 이상 크고 굵어 바이오매스가 30 ton ha⁻¹에 이른다(Moon et al., 2010).

거대역새를 토양 개량제로써 이용할 경우 바이오매스가 많고, 리그닌 함량이 유기물원으로 많이 사용되는 볏짚보다 높아서 토양유기물 증진원으로써 매력적인 자원이다. Dondini(2009)는 역새가 표토의 유기물 축적을 촉진하는데 유용할 수 있다고 하였다. 그러나 탄소 함량이 높아서 C/N ratio가 20 이상인 유기물을 사용한 후 작물재배 시 관행적인 시비를 하게 되면 유기자원이 분해되는 과정에서 식물은 질소 기아 장애를 받을 수 있다고 하였다(Hoffland et al., 2010). 특히 질소(N)는 뉴클레오티드, 단백질, 엽록소, 효소, 알칼로이드, 비타민 및 호르몬 등 많은 식물 기능성 화합물의 주성분이기 때문에(Marschner et al., 2012), 발작물 안정생산을 위해서 작물에 따른 적정 질소 시비량에 대한 연구가 필요하다. 또한 최근 농업에서 새로운 작물의 도입은

농업 생태계 영향에 대한 평가를 요구하고 있다(Beuch et al., 2000). 이러한 요구를 충족시키기 위하여 본 연구는 간척지에서 유기물 증진을 위한 외부 유기투입 자원으로써 역새 투입 시 분해평가와 토양 및 작물 생산성에 미치는 영향 등에 대한 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시험 장소 및 기상

본 연구는 2017년 2월부터 10월까지 전라북도 부안군에 위치한 새만금 간척지 공유수면 계화지구 내 국립식량과학원 시험포장(35°46'N, 126°37'E)에서 간척지 토양에 투입된 역새의 분해 특성을 평가하였으며, 2018년 2월부터 2019년 10월까지 전라북도 김제시 광활면에 위치한 새만금 간척지 공유수면 내 국립식량과학원 시험포장(35°49'N, 126°41'E)에서 간척지 토양에 거대역새 투입 후 감자 재배 시 적정 질소시비량 평가를 수행하였다. '17년부터 '19년까지 3년간 시험장소 별 평균기온 및 월별 강수량은 다음과 같다(Fig. 1).

'17년도 부안군 계화면 평균 기온은 13.4°C, 누적강수량은 857.5 mm이었으며, '18년도 김제시 광활면 평균 기온은 12.9°C, 누적강수량은 1,068.5 mm, '19년도는 12.8°C, 누적강수량은 874.5 mm 이었다.

2.2. 새만금 간척지에서 거대역새 활용을 위한 분해 특성 평가

본 연구는 간척지 토양에 거대역새 투입 시 분해 특성 평가를 구명하고자 2017년 전라북도 부안군 계화면

Table 1. Soil chemical properties by salinity before the study began

Soil conditions	pH	EC**	OM**	AP**	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
	1:5	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹				
LS [*]	7.7	7.05	3.64	111	0.51	1.6	2.34	4.25
HS [*]	7.7	35.03	1.47	108	0.86	1.9	7.79	35.77

* LS : low salinity, HS : high salinity

**EC : electrical conductivity, OM : organic matter, AP : available phosphorus

Table 2. Chemical quality characteristics of used giant miscanthus

Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	P	N	C	lignin	C/N ratio
(%)								
2.25	11.43	0.56	0.41	0.16	0.27	43.12	23.6	159

새만금 간척지 내 국립식량과학원 간척지 시험연구포장에서 4월 10일부터 9월 10일까지 수행하였다. 시험 전 토양의 화학적 특성은 다음과 같았다(Table 1).

시험 전 염농도가 낮은 low salinity (LS) 처리구 표토(0-20 cm)의 토양 이화학적 특성은 토양 산도는 pH 7.7이었으며, electrical conductivity (EC)는 7.05 dS m⁻¹, organic matter (OM)은 3.64 g kg⁻¹으로 EC는 작물을 재배하기에는 염농도가 약간 높은 편이었으며, OM은 적정수준(20-25 g kg⁻¹) 대비 굉장히 낮은 간척지 토양이었다. Exchangeable Ca²⁺은 적정범위(5-6 cmol_c kg⁻¹)보다 이하였으며, exchangeable Mg²⁺(1.5-2.0 cmol_c kg⁻¹)은 적정범위보다 이상이었으며, exchangeable Na⁺은 4.25 cmol_c kg⁻¹이었다. 염농도가 높은 high salinity (HS) 처리구는 표토(0-20 cm)의 토양 pH는 7.7로 같았으나, 염농도가 35 dS m⁻¹로 굉장히 높았으며, OM은 1.47 g kg⁻¹로 낮은 토양이었다. Exchangeable Ca²⁺은 적정범위보다 이하였으나, exchangeable Mg²⁺과, exchangeable K⁺은 적정범위 이상이었으며, exchangeable Na⁺은 35.77 cmol_c kg⁻¹로 매우 높았다.

거대역새는 전북 익산시 금강변 옹포·연안지구에서 예취한 건조 역새 잎, 줄기를 5 cm 내외로 절단한 40 g을 litterbags(20 cm x 20 cm)에 넣어서 5반복으로 표토 15 cm에 매립하였다. 매립 후 30, 60, 90, 120, 180일에 수집하여 수돗물로 세척한 후 105℃ 오븐에서 건조하여 환원 후 시기별 분해 정도(건물중), C/N ratio, 주요양분 등을 분석하였다. 투입된 거대역새의 화학적 특성은 Table 2와 같다.

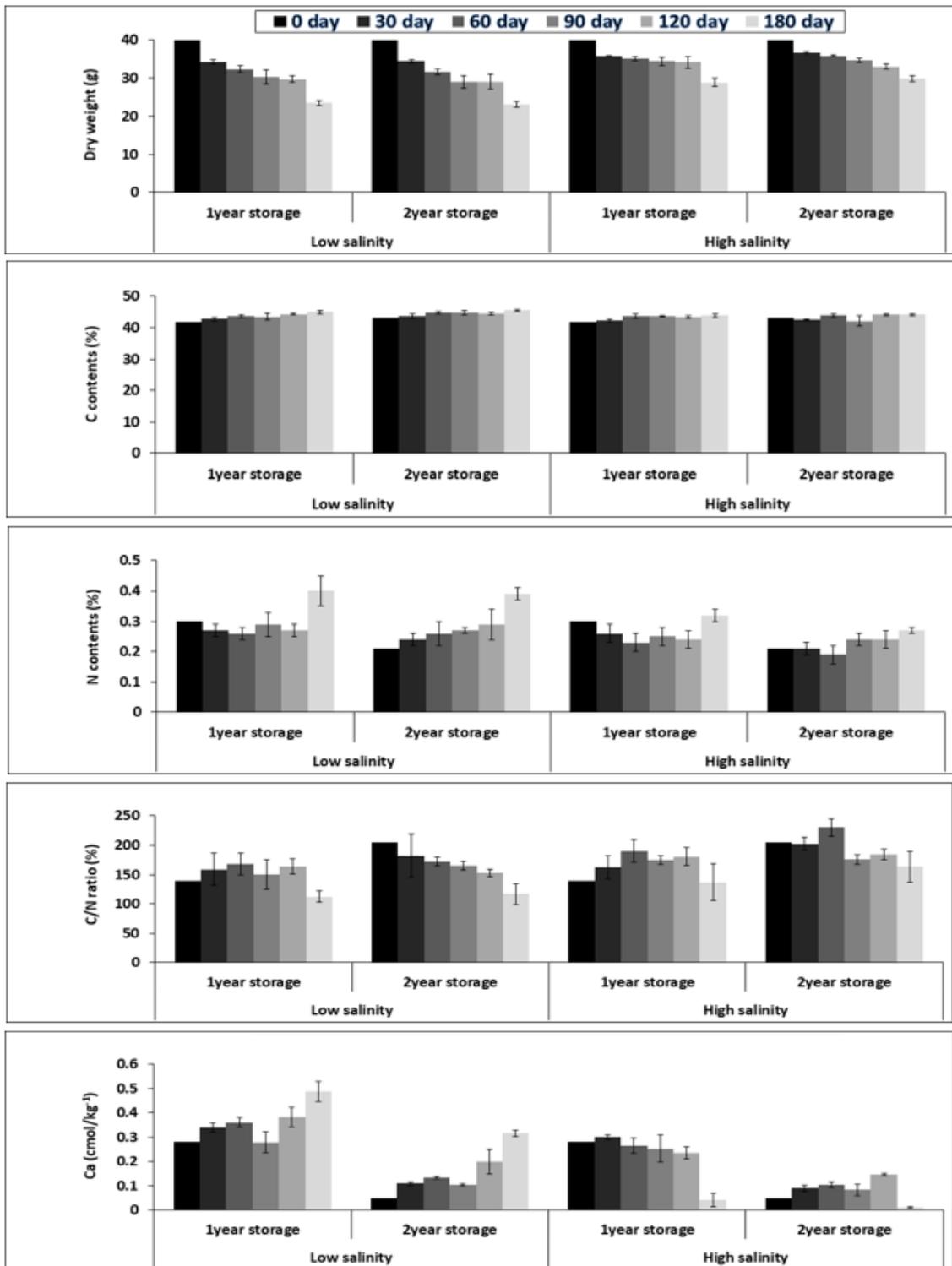
거대역새의 탄소와 질소 비율(C/N ratio)은 159로 이는 적정수준인 20 - 30을 초과한 퇴비가 느린 특성을 보였으며, 리그닌 함량은 23.6%를 보였다.

2.3. 간척지 토양에 거대역새 투입 후 감자 재배 시 적정 질소시비량 평가

간척지 토양에 거대역새 투입 후 감자 재배 시 적정 질소시비량 평가를 위하여 시험 전 토양에 투입한 유기 자원은 거대역새 1호 마른 지상부였으며, 수확하여 1년 이내 보관한 역새와 2년 이내 보관한 역새 곤포를 각각 해제한 후 5 cm 내외로 절단하여 시험 포장에 골고루 살포하였다. 살포 후 로터리 경운을 통해 토양과 혼합되도록 하였다. 투입 후 발작물 재배를 위해서 감자 공시 품종은 수미를 이용하였으며, 재배된 토양 염농도는 0.1% 수준이었다. 시비량(N-P₂O₅-K₂O)은 10-10-12 kg/10a를 표준시비량으로 했을 때 질소는 표준시비량의 0, 100, 150, 200% 4수준으로, 나머지 인산과 칼리는 표준시비량을 전량 기비하였다. 거대역새는 작물 파종 한 달 전 1 ton/10a을 투입하였으며, 배색비닐로 피복 후 재식거리는 70 x 25 cm(조간 x 주간) 간격으로 1립씩 파종하였다.

2.4. 토양 이화학적 분석 및 작물 생육조사

채취한 토양 시료는 건조 후 2 mm 표준체를 통과하여 토양 pH와 EC는 1:5 침출법(토양:증류수=1:5, w/w)으로 pH-EC 미터기(Thermo, Orion Star A215, Thermo, Indonesia)로 분석하였고, EC는 측



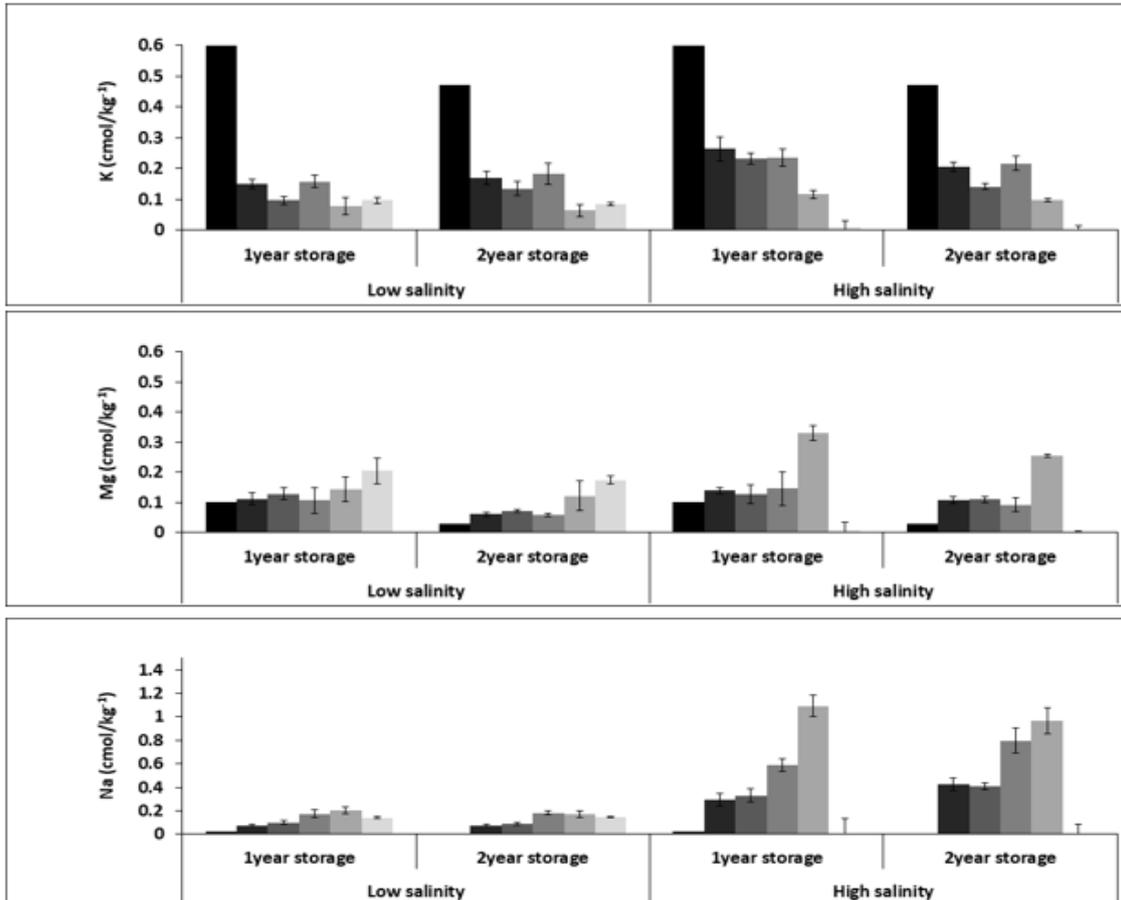


Fig. 2. Comparison of changes in plant residue properties after incorporation according to the storage period of *Miscanthus* in Saemangeum reclaimed land; Error bars indicate standard deviation of the mean.

정된 값에 5를 곱한 데이터를 이용하였다. 유기물 및 탄소, 질소는 원소분석기(Vario Max, elemental, Germany)로, 유효인산은 Lancaster법으로 비색정량법(Libra S80, Biochrom, England)을 이용해 720 nm에서 비색 측정하였으며, 교환성 양이온은 증류수와 1N-NH₄OAc (pH 7.0) 침출법으로 추출한 여액을 ICP-OES (Varian, Vista MPX-ICP)를 사용하여 정량 분석 하였다(식량작물환경 분석법 핸드북, 2014).

식물체 분석은 식물체 분석법 (NIAS, 2000)에 준하여 분쇄한 시료를 H₂O₂-H₂SO₄로 습식분해하여 무기성분 분석에 활용하였다. 감자 생육 조사는 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준 (RDA, 2012)에 의하여 조사하였다.

2.5. 통계 분석

통계분석 프로그램 RStudio (x64, 3.5.3) 프로그램을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 $p < 0.05$ 수준으로 수행하였으며, Duncan test를 통한 다중검정 등을 실시 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 간척지 거대억새 활용을 위한 분해 특성 평가

새만금 간척지에 거대억새 활용을 위한 거대억새 저장 기간과 토양 염농도 수준에 따른 분해 특성 비교를 Fig. 2에 나타내었다. 토양에 투입된 거대억새의 건물중은 LS 처리구에 투입된 거대억새의 분해 속도가 HS 처리

Table 3. Soil chemical properties before the study began

Depth (cm)	pH	EC	OM	AP	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
	1:5	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		cmol _c kg ⁻¹		
0~20	6.6	0.24	2.2	35	0.52	1.0	1.20	0.18
20~40	6.4	0.60	3.1	26	0.52	0.8	1.29	0.39

구보다 빠른 경향을 보였으며, 거대역새 저장 기간에 따라서는 통계적으로 유의성이 없는 것으로 나타났다. 거대역새 투입 후 6개월 동안 LS 처리구에서는 건물중의 47%, HS 처리구는 23%가 분해되었다. 토양 염농도에 의해 차이가 발생하였는데, Hietz(1992)는 분해는 초기 양분 구성의 차이에 의해 영향을 받지 않으며, 분해의 차이는 투입 장소의 물리·화학·생물학적 특성에 의해 야기된다고 하였다. 특히 염농도가 높은 HS 처리구에 비하여 염농도가 낮은 LS 처리구가 건물중 분해율이 2배이상 높았는데, 이는 HS 처리구의 EC가 5배정도 높고, 유기물 함량이 2배 이상 낮았기 때문이라고 생각된다. 보통 분해율은 전형적으로 양분 이용성이 높을 때 높아지는데, 많은 연구에서 특히 질소와 인산함량이 미생물 활동이나 분해율을 결정하는 핵심 지표라고 하였다(Webster and Benfield, 1986; Peterson et al., 1993). 투입된 거대역새 식물체 내 탄소(C) 함량은 두 처리구 모두 시간이 지날수록 증가 되는 경향을 보였으며, 질소(N) 함량은 2년 저장 후 투입된 역새는 투입 기간의 경과에 따라 점진적으로 증가 되는 경향을 나타냈으나, 1년 보관되었던 역새는 120일까지는 변화가 없다가 이후 크게 증가 하였다. 특히 6개월 후 모든 처리구에서 증가되었는데 이는 대기나 토양으로부터 미생물들이 질소고정 작용에 의한 것이라고 하였다(Mason, 1976). 또한 질소와 인산은 겨울보다 여름 기간 동안 더 빠르게 축적되는 경향을 보이며, litter의 함량 변화는 일반적으로 미생물 활동에 기인한다고 하였다(Hietz 1992; Kaushik and Hynes, 1971). 특히 LS 처리구가 HS 처리구보다 더 높은 질소함량을 보였는데, 이는 염농도가 낮은 조건과 유기물 함량이 높은 조건에서 미생물의 활동이 더 활발하였기 때문이라고 생각된다. 질소가 충분하지 않다면 미생물 활동에 영향을 주며 느린 분해를 보이는 중요한 요소이다(Smith and Smith, 2001). Webster and Benfield(1986)은 미생물들은 질소함량이 증가하면 litter quality를 변형시키는데 이러한 것은 분해 역학(Dynamics)에 영향을 미친

다고 하였다.

Carbon:nitrogen(C:N ratio)는 LS 처리구에서 1년 저장된 거대역새는 6개월 후 139.3에서 112.5까지 19.2% 감소 하였으나, 시간 경과에 따른 경향성은 보이지 않았으며, 2년 저장된 거대역새는 6개월까지 감소하는 경향을 보였으며 205.2에서 116.6까지 43.2% 감소했다. HS 처리구에서 1년, 2년 저장된 거대역새 모두 60일까지 각각 139.3에서 190, 205.2에서 230.6까지 오히려 증가하는 경향을 보였다가 90일부터 각각 137.0, 163.6 으로 각각 1.7%, 20.3%까지 감소하는 경향을 보였다. C:N ratio 비율은 미생물 성장 및 후속 건물중 손실의 기질로써 litter quality의 강력한 지표인데(Windham, 2001), 낮은 탄질률을 가지는 유기자원 품질은 장기적으로 SOC 저장을 향상시킬 수 있다고 하였다(Kirkby et al., 2013). 또한 유기물 분해 및 양분 무기화의 토양 미생물적 효율은 C/N 비율이 증가함에 따라 감소한다고 하였다(Scott and Binkley, 1997). 우리 연구에서는 LS 처리구가 HS 처리구에 비하여 탄질률이 최소 17.8% 이상 차이를 보였다.

교환성 칼슘은 LS 처리구에서는 1, 2년 저장 역새 모두 각각 0.28 cmol_c kg⁻¹에서 0.49 cmol_c kg⁻¹로 75%, 0.05 cmol_c kg⁻¹에서 0.32 cmol_c kg⁻¹로 540% 증가하는 경향을 보였으며, HS 처리구에서는 1년 저장된 역새는 0.28 cmol_c kg⁻¹에서 0.04 cmol_c kg⁻¹로 85.7% 감소하는 경향을 보였으며, 2년 저장된 역새는 6개월 후 0.05 cmol_c kg⁻¹에서 0.01 cmol_c kg⁻¹로 80% 감소하였다. 교환성 칼륨은 두 처리구 모두 초기에 비하여 30일 후 함량이 급격히 감소하는 경향을 보였다. 교환성 마그네슘과 교환성 나트륨은 두 처리구 모두 증가하는 경향을 보였으며, 특히 교환성 나트륨은 HS 처리구에서 LS 처리구 보다 크게 증가하는 경향을 보였다. 또한 Na⁺과 Mg²⁺은 모든 처리구에서 증가하는 경향을 보였는데, Hietz(1992)는 Na⁺과 Mg²⁺은 이동성이 적은 이온이기 때문에 훨씬 빠르게 축적된다고 하였으며, 토양의 Na⁺과 Mg²⁺ 함량이 적정범위보다 높은 수준이

Table 4. Comparison of potato growth and yield according to incorporation year of *Miscanthus* and nitrogen application rate

Incorporation year	Nitrogen application rate (kg/ha)	Tuber number (ea/plant) eatuber	Tuber weight (g/plant) weightea	Tuber weight (g/tuber) average tuber	Commercial rate (%) full	Commercial yield (kg/10a) yield
0	0	8.4±1.1	202.5±53.0	23.9±3.1b	30.1±10.5b	255±148.5
	100	10.6±1.4	529.5±34.6	50.1±3.2ab	71.6±0.4a	1515±106.1
	150	9.8±2.1	641.6±22.5	68.1±17.3a	68.2±3.1a	1750±75.5
	200	7.1±1.4	374.0±130.8	50.5±4.5ab	62.5±4.7a	900±254.6
1	0	4.9±2.6	185.0±79.4	40.8±8.0	51.1±4.8	370±138.6d
	100	8.2±2.2	388.3±76.5	47.9±5.1	59.5±12.8	910±199.7bc
	150	9.6±1.6	721.6±49.3	76.4±8.8	70.0±4.8	2,050±272.2a
	200	6.6±1.9	261.6±73.2	39.9±0.8	58.5±5.1	620±221.1d
2	0	3.7±2.5b	208.1±158.1d	59.3±22.8	63.2±12.2	547±432.9b
	100	10.0±1.8a	679.2±192.1a	67.2±15.2	68.7±5.3	1,860±513.5a
	150	9.4±1.7a	603.3±178.6a	63.1±3.6	69.8±8.8	1,680±537.9a
	200	9.8±1.8a	627.7±79.4a	63.5±18.3	67.5±5.8	1,686±182.3a
Nitrogen rate	0	4.7±2.8b	201.9±126.3b	49.7±22.5	55.3±15.9b	461±358.4c
	100	9.8±1.9a	595.5±197.8a	60.7±15.2	67.1±7.8a	1,607±571.8ab
	150	9.5±1.6a	634.6±144.6a	66.9±13.7	69.6±7.1a	1,768±445.9a
	200	8.5±2.2a	488.5±170.9a	55.5±17.7	64.4±6.4a	1,267±479.8b
Year	0	9.3±2.0	497.1±190.7	53.9±18.7ab	60.5±15.4	1303.3±635.3
	1	7.2±2.6	363.6±22.7	49.0±16.5b	59.7±9.8	894.0±695.3
	2	8.4±3.2	538.8±238.7	63.4±17.1a	67.4±8.3	1469.1±664.2
Anova	Year	ns	*	*	*	*
	Nitrogen	***	***	ns	**	***
	Y x N	*	**	*	**	***

The results represent the mean ± SD and a-d means with different letters on the letters are significantly different ($P < 0.05$) according to Duncan's multiple range test.

기 때문에 주위 환경에서 흡수된 것으로 판단된다. Na^+ 같은 경우 유기자원 혼합 시 흡수가 되는 것으로 보아 제염효과도 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2. 간척지 연차별 거대역새 투입 및 질소시비수준에 따른 감자 생산성 비교

시험 전 토양 화학적 특성은 pH는 적정범위였으며, OM과 AP 함량이 각각 2.2 g kg^{-1} , 35 mg kg^{-1} 으로 일반 토양 대비 1/10 수준이었으며, exchangeable Ca^{2+} 과 K^+ , Mg^{2+} , Na^+ 함량이 각각 1.0, 0.52, 1.2, $0.18 \text{ cmolc kg}^{-1}$ 이었다(Table 3).

Table 4는 거대역새 투입 연차(Incorporation year) 및 질소 시비 수준(Nitrogen application rate)에 따른 감자 생육 및 수량을 비교하였다. 질소 시비 수준에 따른 생육 및 수량 차이는 괴경당 무게(Tuber weight)를 제외하고 통계적으로 유의성을 보였으며, 주당 괴경수(Tuber number)와 상서율(Commercial rate)은 질소 표준시비량인 100 kg/ha 시비하여도 이상의 질소시비 처리구와 통계적으로 유의성을 보이지 않았다. 반면 상서수량(Commercial yield)은 50% 증비한 150 kg/ha 시비 시 $1,768 \text{ kg/10a}$ 로 가장 많았으며, 100 kg/ha 시비 시 $1,607 \text{ kg/10a}$ 로 50% 증비한 처리구와 통계적으로 유의성을 보이지 않았다. 반면 거대역새 투입 연차에 따라서는 괴경당 무게를 제외하고 통계적으로 유의성을 보이지 않았다.

거대역새 투입 연차와 질소 시비 수준의 이원분산분석결과 모든 생육 및 수량이 통계적으로 유의성을 나타내었다($p < 0.05$).

거대역새 투입 연차에 따른 질소비료 시비 기준은 2년 연속 투입 시 질소비료는 표준시비($100\text{-}100\text{-}120 \text{ kg/ha}$)만큼, 1년 투입하였을 때에는 표준 시비의 50% 증비가 양호한 생육을 나타내었다. 반면 거대역새를 투입하지 않았을 때는 괴경당 무게가 질소비료 50% 증비가 가장 많았으며, 이 외에는 전체적으로 표준 시비구와 통계적으로 유의성을 보이지 않았다. 질소는 작물 바이오매스 수량이나 생육에 중요한 역할을 하며, 유기자원 분해과정(Kaushik and Hynes, 1971)과 질소 시비에 대한 작물 생육 반응에서 질소가 제한요인이라고 넓게 알려져 있다(Salme'ron-Miranda et al., 2007; Mendieta-Araica et al., 2013). 그러나 보통 더 많은 작물 생산을 위해서 질소의 증비는 SOM이 증가할 수도 있지만(Christensen and Johnston, 1997), 작물의

바이오매스가 증가함으로써 질소가 분해의 제한요인이 되기 때문에 부분적으로 상쇄한다는 결과들이 논쟁이 되고 있다(Henriksen and Breland, 1999). 분해에 대한 무기질소의 영향은 다양하며 때때로 질소 증가가 분해를 감소시킨다는 결과도 있다(Magill and Abeer, 1998). 이러한 이유는 아마도 분해자 그룹 사이에 경쟁을 변화시키거나, 리그닌 분해효소의 암모늄 저해현상, 분해되기 어려운 화합물들의 형성을 촉진시켰을 수도 있을 것이다(Fog, 1998). 반면 토양으로 유기자원의 투입은 약간의 질소비료 요구를 대체할 수 있다고 하였으며(Mahapatra et al., 1991; Cassman et al., 1998; Wang and Yang, 2003), 유기자원과 비료의 혼합 시비는 단기간에 작물 생산성을 높일 수 있는 유용한 접근법으로써 장기적으로도 토양 유기물을 강화시키며, CEC를 상당히 높일 수 있다고 하였다(Aggelides and Londra, 2000; Bulluck et al., 2002). Fig. 3은 간척지 감자 재배 시 역새 투입 연차에 따른 적정 질소 시비 수준을 회귀분석 곡선으로 나타낸 것이다. 역새 무투입 시(0 year) 질소 시비 수준 간 통계적으로 유의성을 나타내지 않았다(Fig. 3-a). 거대 역새 1년 투입시(1 year) 질소 시비는 150 kg/10a 가 가장 수량이 많았으며, $\text{Yield} = -492.5 * \text{질소시비량}^2 + 2651.5x - 1947.5$ 로 설명력은 (R^2) 69.5%를 나타내었다(Fig. 3-b). 거대 역새 2년 투입시(2 year) 질소시비 100 kg/10a 가 가장 수량이 많았으며, $\text{Yield} = -326.75 * \text{질소시비량}^2 + 1957.5x - 999.75$ 로 설명력은 (R^2) 87.1%를 나타내었다(Fig. 3-c). 본 연구에서 유기자원만의 수량 증대 효과는 역새 무투입부터 2년차까지 통계적으로 큰 차이를 보이지 않았는데, 초기 몇 년 동안 수량에 대한 부정적인 영향은 단기간 토양 질소의 부동화 때문이며, 토양과 혼합된 유기자원의 분해과정은 상대적으로 장기간 발생한다고 하였다. Verma and Bhagat(1992)의 연구에서도 비슷한 결과가 나왔는데, 초기 유기자원 투입 후 평형기간은 적어도 3년까지 지속된다고 결론지었다. 또한 Backer et al.(1994)는 적절한 화학적 구성을 가진 유기자원의 토양으로 혼입은 즉각적으로 수량 증가를 일으키지는 않지만 장기간 토양 비옥도는 향상시킬 수 있다고 하였다.

4. 결론

거대역새는 많은 바이오매스량과 척박한 토양에서

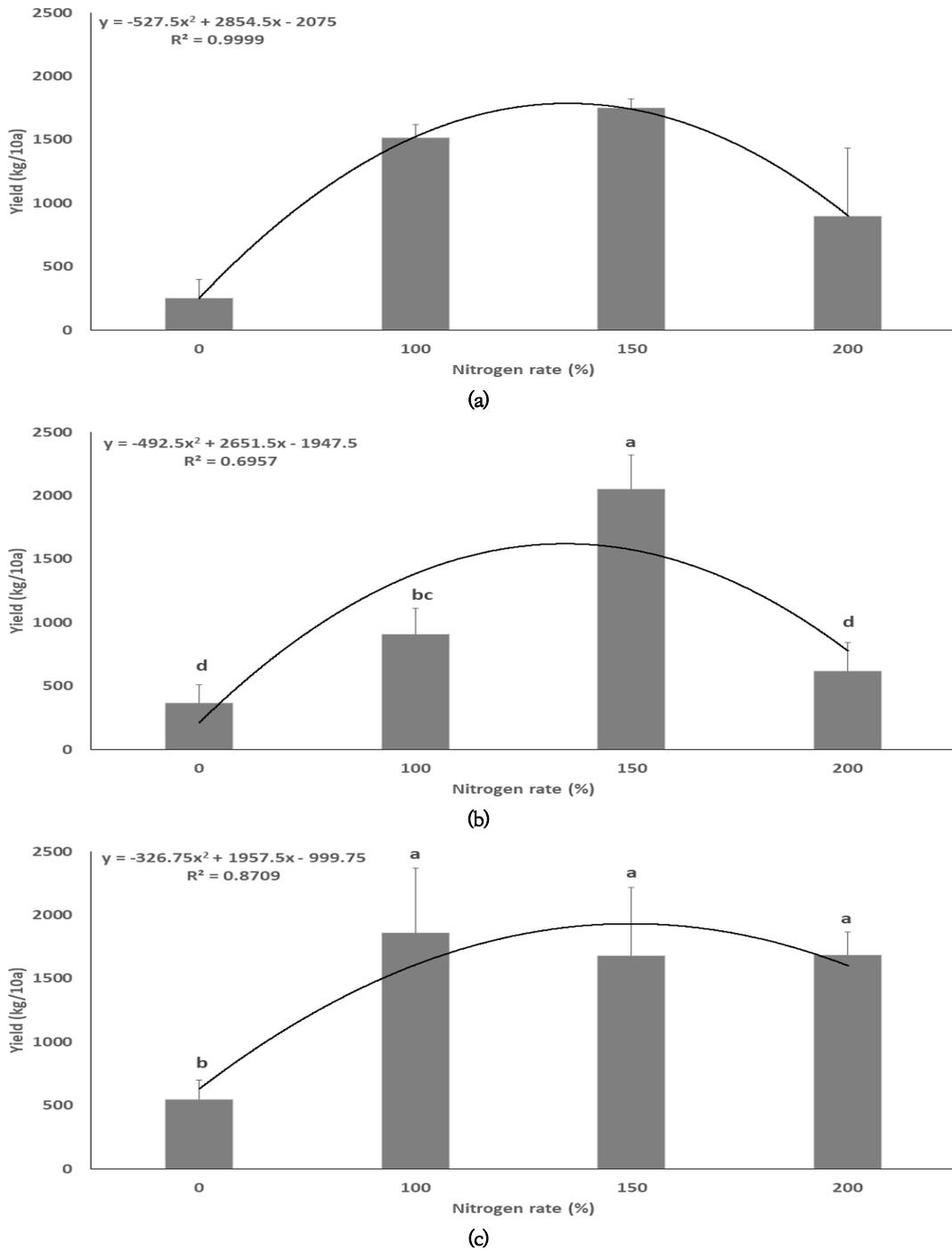


Fig. 3. Regression of proper nitrogen application rate by incorporation year when potato cultivation. giant miscanthus not input treatments (a), giant miscanthus input 1 year treatments (b), giant miscanthus input 2 year treatments (c); Error bars indicate standard deviation of the mean.

잘 자라기 때문에 간척지에서 유기물 증진원으로써 효과적이다. 새만금간척지에서 거대역새 투입 후 유기자 원으로써 분해를 평가하고, 감자의 안정적 재배를 위하여 적정 질소비료 수준을 평가한 결과는 다음과 같다.

첫째 거대역새는 염농도 수준에 따라 6개월 후 건물중의 23 - 47%가 분해되었다. 토양에 투입된 거대역새의 건물중은 LS 처리구에 투입된 역새의 분해 속도가 HS 처리구보다 빠른 경향을 보였으며, 거대역새 저장기간에 따라서는 통계적으로 유의성이 없는 것으로 나타났다.

Carbon:nitrogen (C:N ratio)는 LS 처리구에서 1년 저장된 역새는 6개월 후 139.3에서 112.5까지 19.2% 감소 되었으나, 시간 경과에 따른 경향성은 보이지 않았으며, 2년 저장된 역새는 6개월까지 감소하는 경향을 보였으며 205.2에서 116.6 까지 43.2% 감소했다. HS 처리구에서 1년, 2년 저장 된 역새 모두 60일까지 각각 139.3에서 190, 205.2에서 230.6까지 오히려 증가하는 경향을 보였다가 90일부터 각각 137.0, 163.6으로 각각 1.7%, 20.3%까지 감소하는 경향을 보였다. 또한 Na^+ 과 Mg^{2+} 은 모든 처리구에서 증가하는 경향을 보였는데, 토양의 Na^+ 과 Mg^{2+} 함량이 적정범위보다 높은 수준이기 때문에 주위 환경에서 흡수된 것으로 판단되며, Na^+ 경우 유기자원 혼합 시 흡수가 되는 것으로 보아 제염 효과도 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

둘째 새만금간척지에서 거대역새 투입 후 감자의 안정적 재배를 위해서는 역새 1년 투입 시에는 질소 표준시비의 50% 증비가 필요하였으며, 역새 2년 투입 시에는 질소 표준시비만큼(100 kg/ha)에서 최대 생육 상태를 보였다.

이상의 결과를 종합해보면 거대역새의 투입은 새만금간척지에서 역새 투입 기간 및 횟수에 따라서 적절한 질소 비료를 첨가한다면 토양의 비옥도를 향상시키고 감자 재배 시 생육 및 수량 증대를 장기적으로 기대해 볼 수 있을 것이라 판단된다. 그러나 유기자원이 토양에 투입된 후 분해 및 양분공급에 대한 장기적인 연구가 더 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업 (세부과제번호: PJ012577)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Aggelides, S. M., Londra, P. A., 2000, Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil, *Bioresource Technology.*, 71, 253-259.
- Ahn, B. K., Ko, D. Y., Kim, H. J., Kim, T. B., Chon, H. G., Kang, Y. G., 2019, Effects of soil improvement and growth of watermelon on plastic film house by two-year application of *Miscanthus*, *Korean Journal of Environmental Agriculture.*, 38, 124-132.
- Backer, M., Ladha, J. K., Ottow, J. C. G., 1994, Nitrogen losses and lowland rice yield as affected by residue nitrogen release, *Soil Science Society of America Journal.*, 58, 1660-1665.
- Beuch, S., Boelcke, B., Belau, L., 2000, Effect of the organic residues of *Miscanthus giganteus* on the soil organic matter level of arable soils, *Journal of Agronomy and Crop Science.*, 183, 111-119.
- Bulluck III, L. R., Brosius, M., Evanylo, G. K., Ristaino, J. B., 2002, Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms, *Applied Soil Ecology.*, 19, 147-160.
- Cassman, K. G., Peng, S., Olk, D. C., Ladha, J. K., Reichardt, W., Dobermann, A., Singh, U., 1998, Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems, *Field Crops Research.*, 56, 7-39.
- Chen, S., Stephen, A. R., 2006, *Miscanthus* Andersson, *Flora of China.*, 22, 581-583.
- Christensen, B. T., Johnston, A. E., 1997, Soil organic matter and soil quality-Lessons learned from long-term experiments at Askov and Rothamsted, *Developments in Soil Science.*, 25, 399-430.
- Dondini, M., Hastings, A., Saiz, G., Jones, M. B., Smith, P., 2009, The potential of *Miscanthus* to sequester carbon in soils: comparing field measurements in Carlow, Ireland to model predictions, *GCB Bioenergy.*, 1, 413-425.
- Fog, K., 1988, The effect of added nitrogen on rate of decomposition of organic matter, *Biological Reviews.*, 63, 433-462.
- Henriksen, T. M., Breland, T. A., 1999, Nitrogen availability effects on carbon mineralisation fungal and bacterial growth and enzyme activities during decomposition of wheat straw in soil, *Soil Biology and Biochemistry.*, 31, 1121-1134.
- Hietz, P., 1992, Decomposition and nutrient dynamics of reed (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) litter in Lake Neusiedl, Austria, *Aquatic Botany.*, 43, 211-230.

- Hoffland, E., Groenigen, J. W., Oenema, O., 2010, Nutrient management, Wageningen University, Wageningen, Netherlands.
- Kaushik, N. K., Hynes, H. B. N., 1971, The fate of the dead leaves that fall into streams, *Archiv fur Hydrobiologie.*, 9, 465-515.
- Kirkby, C. A., Richardson, A. E., Wade, L. J., Batten, G. D., Blanchard, B. C., Kirkegaard, J. A., 2013, Carbon-nutrient stoichiometry to increase soil carbon sequestration, *Soil Biology and Biochemistry.*, 60, 77-86.
- Lal, R., 2004, Agricultural activities and the global carbon cycle, *Nutrient cycling in agroecosystems.*, 70, 103-116.
- Lee, K. B., Kang, J. K., Kee, K. D., Gil, G. H., Lee, J. H., Kim, J. D., 2008, Soil physico-chemical properties of reclaimed land in Southwestern Korea, *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer.*, 9, 143.
- Magill, A. H., Aber, J. D., 1998, Long-term effects of experimental nitrogen additions on folial litter decomposition and humus formation in forest ecosystems, *Plant and Soil.*, 203, 301-311.
- Mahapatra, B. S., Sharma, G. L., Singh, N., 1991, Integrated management of straw and urea nitrogen in lowland rice under a rice-wheat rotation, *The Journal of Agricultural Science.*, 116, 217-220.
- Marschner, H., 2012, Marschner's mineral nutrition of higher plants, 3rd ed.; Academic Press: London., 178-189.
- Mason, C. F., 1976, Decomposition, Edward Arnold, Southampton.
- Mendieta-Araica, B., Sporndly, E., Reyes-Sánchez, N., Salmerón-Miranda, F., Halling, M., 2013, Biomass production and chemical composition of *Moringa oleifera* under different planting densities and levels of nitrogen fertilization, *Agroforestry Systems.*, 87, 81-92.
- Moon, Y. H., Koo, B. C., Choi, Y. H., Ahn, S. H., Bark, S. T., Cha, Y. R., An, G. H., Kiam, J. K., Suh, S. J., 2010, Development of "*Miscanthus*" the promising bioenergy crop, *Korean Journal of Weed Science.*, 30, 330-339.
- National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST), 2000, Methods of analysis of soil and plant, Suwon (in Korean): NIAST.
- Peterson, B. J., Deegan, L., Helfrich, J., Hobbie, J. E., Hullar, M., Moller, B., Ford, T. E., Hershey, A., Hiltner, A., Kipphut, G., Lock, M. A., Fiebig, D. M., McKinley, V., Miller, M. C., Vestal, J., Ventullo, R., Volk, G., 1993, Biological responses of a tundra river to fertilization, *Ecology.*, 74, 653-672.
- Powlson, D. S., Riche, A. B., Coleman, K., Glendining, M. J., Whitmore, A. P., 2008, Carbon sequestration in European soils through straw incorporation: limitations and alternatives, *Waste Management.*, 28, 741-746.
- Rural Development Administration, 2012, Agricultural Science and Technology Research and Analysis Criteria, 1st ed., Sambo., Suwon, 468-470.
- Rural Development Administration, 2014, Food Crop Environmental Analysis Handbook, 1st ed., Social welfare foundation Hong Ae Won., Suwon, 20-35.
- Salmerón-Miranda, F., Bath, B., Eckersten, H., Forkman, J., Wisvstad, M., 2007, Aboveground nitrogen in relation to estimated total plant uptake in maize and bean, *Nutrient Cycling in Agroecosystems.*, 79, 125-139.
- Scott, N. A., Binkley, D., 1997, Foliage litter quality and annual net N mineralization: Comparison across North American forest sites, *Oecologia.*, 111, 151-159.
- Smith, R. L., Smith, T. M., 2001, Ecology and field biology, Benjamin Cummings, San Francisco.
- Verma, T. S., Bhagat, R. M., 1992, Impact of rice straw management practices on yield, nitrogen uptake and soil properties in a wheat-rice rotation in northern India, *Fertilizer research.*, 33, 97-106.
- Vityakon, P., 2007, Degradation and restoration of sandy soils under different agricultural land uses in northeast Thailand: a review, *Land Degradation and Development.*, 18(5), 567-577.
- Wang, M. C., Yang, C. H., 2003, Type of fertilizer applied to a paddy-upland rotation affects selected soil quality attributes, *Geoderma.*, 114, 93-108.
- Webster, J. R., Benfield, E.F., 1986, Vascular plant breakdown in freshwater ecosystems, *Annual Review of Ecology and Systematics.*, 17, 567-594.
- Windham, L., 2001, Comparison of biomass production and decomposition between *Phragmites australis* (common reed) and *Spartina patens* (salt hay grass) in brackish tidal marshes of New Jersey, USA, *Wetlands.*, 21, 179-188.

-
- Researcher. Yang-Yeol Oh
Division of Crop Foundation, National Institute of
Crop Science, Rural Development Administration
nubira7777@korea.kr
 - Researcher. Kang-Ho Jeong
Division of Crop Foundation, National Institute of
Crop Science, Rural Development Administration
stealea@korea.kr
 - Researcher. Su-Hwan Lee
Division of Crop Foundation, National Institute of
Crop Science, Rural Development Administration
suhnlee@korea.kr

-
- Researcher. Kwang-Seung Lee
Division of Crop Foundation, National Institute of
Crop Science, Rural Development Administration
kslee15@korea.kr
 - Researcher. Bo-Seong Seo
Division of Crop Foundation, National Institute of
Crop Science, Rural Development Administration
goodnews326@korea.kr
 - Professor. Kil-Yong Kim
Institute of Environmentally-Friendly Agriculture,
Chonnam National University
kimkil@chonnam.ac.kr