

## Responses of Cabbage Growth to Different Application Ratios of Activated Rice Hull Biochar Mixed Fertilizer

In-Ho Jung<sup>1</sup>, Hong-Sik Na<sup>1</sup>, Hyun-Jong Cho<sup>1</sup>, Oh-Yeon Kwon<sup>1</sup>, Seung Gil Hong<sup>2</sup>, and JoungDu Shin<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Researcher, Nousbo Co., Ltd, Suwon 16614, Korea

<sup>2</sup>Deputy head of Asia Team, Division for Korea Program for International Cooperation in Agricultural Technology, Technology Cooperation Bureau, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea

<sup>3</sup>Principal Scientist, Department of Climate Change and Agro-ecology, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju-Gun 55365, Korea

\*Corresponding author: [jdshin1@korea.kr](mailto:jdshin1@korea.kr)

### ABSTRACT

**Received:** September 20, 2020

**Revised:** November 27, 2020

**Accepted:** November 27, 2020

### ORCID

In-Ho Jung

<http://orcid.org/0000-0003-0230-6890>

JoungDu Shin

<http://orcid.org/0000-0002-5941-3438>

This study was conducted to evaluate how granular slow release fertilizer containing activated rice hull biochar can effect on growth of cabbage and save its fertilizer usage amount. The cabbages (chuwol) were transplanted with randomized block design for 3 replications on September 3<sup>rd</sup>, 2019, and the treatments consisted of non-fertilizer, control, commercial slow-release fertilizer, conventional practice and activated rice hull biochar mixed with fertilizer (ARHBMF) in 4 different basal fertilizer (21-17-17) levels; 100%, 80%, 60% and 40% before planting. Each treatment received the same amount of additional fertilizer. Regarding this result, it can be reduced at 40% of basal fertilizer application, and the total fertilizer application rate was decreased with 52.8% compared to the control. The highest yield in the 60% ARHBMF was 3.5 kg plant<sup>-1</sup> based on one time of basal application and the yield index increased at 20% compared to the control. The application rate of 60% ARHBMF was reduced at 66.7% relative to the application rate of commercial slow-release fertilizer. For the benefit analysis, the cost in the 60% ARHBMF was decreased at 61.8% and 60.8% compared to the control and commercial slow-release fertilization plots, respectively.

**Keywords:** Activated rice hull biochar, Cabbage cultivation, Granular fertilizer, Economic analysis

Benefit analysis of granular types of slow release fertilizer contained activated rice hull biochar during cabbage cultivation.

Treatments	Fertilizer purchasing cost (Won 10a <sup>-1</sup> )	Labor cost of top-dressing (Won)	Application cost (Won)	Benefit (Won)	Benefiit (%)
Activated rice hull biochar mixed fertilizer (A)	56,412	None	56,412	B-A = 91,093 C-A = 87,588	B-A : 61.8% C-A : 60.8%
Conventional practice (B)	90,409	57,096	147,505		
Control (C)	144,000	None	144,000		



## Introduction

우리나라는 쌀 농업 기반으로 벃짚과 왕겨는 국내에서 발생하는 대표적인 농업부산물로 연간 약 601만톤에 이른다 (Lee et al., 2017). 이 중 재활용되는 것은 극히 일부분이며, 대부분은 버려지거나 소각되어 각종 유해가스와 온실가스를 발생시키고 있다 (Zhang et al., 2008). 최근 폐기되는 농업부산물을 바이오차로 재활용하는 연구가 수행되고 있는데 (Kim et al., 2019), 농업부산물을 바이오차로 활용하는 것은 최근 탄소 격리, 재생 에너지, 폐기물 관리, 농업 생산성 개선 및 환경 복원 관점에서 중요한 기능을 하기 때문에 세계적으로 관심을 받고 있다 (Woo, 2013). 농업적 측면에서 넓은 표면적과 높은 pH를 갖고 있는 바이오차는 산성토양 개량 및 미생물 활성도 증가 등의 토양개량 효과가 있으며 (Larid et al., 2010), 수분 및 양분 보유력이 높아 농업 생산성을 크게 향상시킬 수 있다 (Woo, 2013).

이처럼 여러 목적으로 이용할 수 있는 바이오차는 제한된 산소 조건하에서 바이오매스 전환 기술을 통하여 생산되는 다공성 탄소 소재로 (Zhang et al., 2017) 화학적으로 안정적인 탄소 결합 형태를 유지한다 (Mathews, 2008). 이러한 화학 구조식 때문에 생물학적 요인에 의해 쉽게 분해되지 않는 난분해성 물질로도 알려져 있다 (Nichols et al., 2000; Ascough et al., 2010). 최근 온실가스 감축 정책과 맞물려 비료개발에서도 온실가스 저감형 비료의 개발이 활발히 이루어지고 있는 추세에 있다. Zhang et al. (2010)은 바이오차를 논 토양에 사용하여 CO<sub>2</sub> 발생량을 줄인다고 발표하였으며, Lim (2017)은 고추, 배추 등 밭 작물에 적용 가능하고 온실가스를 감축할 수 있는 비료를 개발하여 고추에서 밀거름 량 18%와 온실가스 배출량 30%, 그리고 배추에서는 밀거름량 24%와 온실가스 배출량 57%를 각각 줄일 수 있다고 하였다. Cho (2014)는 용출 제어형 코팅 비료를 개발하여 벼 파종상에 사용하였고, 일반 비료 대비 사용량이 65% 이상 절감되고 아산화질소 (N<sub>2</sub>O) 발생량은 44% 이상 절감된다고 하였다. Park (2015)은 요소-점토 광물 복합체 비료를 개발하여 질소 사용량을 20 - 30% 감소시키고 아질산 가스의 사용을 감소시킨다고 하였다. 국내에서는 화학비료의 사용량을 절감시키거나 화학비료의 이용효율을 높여 사용량을 절감시키는 등의 기술로 온실가스 발생을 감소시키려 하는데, 아직까지 활성바이오차를 이용한 온실가스 저감형 비료의 개발이 이루어지고 있지 않다. 현재 바이오차를 이용한 농업적 이용에 대한 연구에 따른 실용화는 활발히 진행되고 있으나, 바이오차의 가격이 높아 실질적으로 농업분야에서 토양개량제나 탄소격리 소재로서의 활용이 어려운 실증이다. 따라서 바이오차의 표면적을 넓혀, 흡착능을 증가시키고 탄소 함량을 높여, 소량의 사용에도 이용효율성을 높이는 방법으로 활성 바이오차를 활용하는 방법을 모색하고 있다. 활성바이오차는 농업부산물을 탄화하여 생산한 바이오차를 초임계장치를 이용한 고온 습식 처리를 통하여 얻을 수 있는데, 기존 바이오차에 비해 표면적은 700배 이상, 공극 면적은 95배 이상 증가하며 유기 화합물에 대한 흡착력은 120배 증간된다 (Xiao et al., 2018). 따라서 본 연구의 목적은 왕겨 활성바이오차를 이용한 입상형 완효성 비료 사용에 따른 배추 생육효과를 평가하기 위해 본 연구를 수행하였다.

## Materials and Methods

본 연구에서는 농업부산물의 Black carbon화를 통해 왕겨활성바이오차를 5% 함유하는 왕겨 활성바이오차 혼합 비료를 공시하였다 (Table 1). 왕겨 활성바이오차 혼합 비료의 제조에 관하여는 이전 논문에 서술되어 있다 (Jung et al., 2020).

**Table 1.** Components of activated rice hull biochar mixed fertilizer.

Treatments	Mixture Ratio (%)				Fertilizer formula (N-P-K, %)
	Activated biochar	Urea	Potassium sulfate	Dolomite	
Activated biochar 5%	0.4	66.6	28.0	5	30-0-13

**Table 2.** Application times and amounts of modified supplemented activated rice hull biochar mixed fertilizer (10a).

Treatments	Components		Additional application		Total	
	Fertilizer	ARHBMF	1st	2nd	Amounts (kg)	Times
Conventional fertilizer	21-17-17 (52.4 kg)	-	18-0-16 (55.6 kg) 46-0-0 (24.1 kg)	18-0-16 (55.6 kg) 46-0-0 (24.1 kg)	211.8	3
Control	20-5-8 (160 kg)	-	-	-	160.0	1
100% ARHBMF	21-17-17 (52.4 kg)	30-0-13 (68.5 kg)	-	-	120.8	1
80% ARHBMF	21-17-17 (41.9 kg)	30-0-13 (68.5 kg)	-	-	110.4	1
60% ARHBMF	21-17-17 (31.4 kg)	30-0-13 (68.5 kg)	-	-	99.9	1
40% ARHBMF	21-17-17 (21.0 kg)	30-0-13 (68.5 kg)	-	-	89.5	1

ARHBMF: activated rice hull biochar mixed fertilizer.

**왕겨 활성바이오차 혼합 비료 시용에 따른 배추 재배** 왕겨 활성바이오차 혼합 비료 사용량 절감효과를 구명하기 위한 시험은 경기도 수원에 위치한 서울대학교 농생명과학대학 포장에서 실시하였고, 작물은 배추 (추월)로 재식거리 60×40 cm으로 하여 30일 육묘를 2019년 9월 3일에 정식하였다.

시험구 배치는 난괴법 3반복이며, 처리구는 무시용구 (Non-fertilizer), 관행구 (Conventional practice), 대조구 (Control), 그리고 왕겨 활성바이오차 혼합 비료 처리구는 밀거름 시용량에 따른 밀거름 100% + 웃거름 왕겨 활성바이오차 혼합 비료 (100% 왕겨 활성바이오차 혼합 비료), 밀거름 80% + 웃거름 왕겨 활성바이오차 혼합 비료 (80% 왕겨 활성바이오차 혼합 비료), 밀거름 60% + 웃거름 왕겨 활성바이오차 혼합 비료 (60% 왕겨 활성바이오차 혼합 비료) 및 밀거름 40% + 웃거름 왕겨 활성바이오차 혼합 비료 (40% 왕겨 활성바이오차 혼합 비료) 처리구로 구성되어있다. 시비량은 농촌진흥청 작물별 비료사용처방 기준에 의거하여 시비하였고 (RDA, 2017), 왕겨 활성바이오차 혼합 비료 처리구는 밀거름으로 일반 시판 비료로 사용하여 질소 기준 11 kg 10a<sup>-1</sup>, 8.8 kg 10a<sup>-1</sup>, 6.6 ka 10a<sup>-1</sup>, 4.4 kg 10a<sup>-1</sup>가 되도록 시비하였다. 웃거름으로는 왕겨 활성바이오차 혼합 비료를 질소 기준 21kg 10a<sup>-1</sup>이 되도록 시비하였고 밀거름 시비 시기에 동시에 시비 후 토양 혼화 처리하였다. 관행의 경우 밀거름, 웃거름 둘 다 일반 시판 비료를 사용하였고, 밀거름은 질소 기준 11 kg 10a<sup>-1</sup>가 되도록 하여 정식 전에 시비 후 토양 혼화하였다. 웃거름은 멀칭재배로 인해 농촌진흥청 시비 기준의 2배가 되도록 질소 기준 21 kg 10a<sup>-1</sup>를 정식 후 20일 간격으로 2회 골뿌림으로 시비하였다 (Table 2).

배추 생육 조사는 정식 2주 후부터 2주 간격으로 엽장, 엽폭 및 엽색도 (SPAD)를 측정하였으며, 수량은 정식 후 70일에 최종 수확 후 생체중을 측정하였다.

**통계분석** 통계 분석은 SAS 9.2 version (SAS, Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 처리 간에 배추 생육 특성을 비교하기 위해, 배추 생육 구성 요소에 대해 ANOVA, 표준 오차 및 Duncan 다중 검정을 하였다.

**왕겨 활성바이오차 혼합 비료의 경제성 평가** 개발된 왕겨 활성바이오차 혼합 비료를 농촌진흥청 농업경영 자료 (2019)를 기준으로 관행 시비와 기존 시판 중인 완효성 비료 대비 비용 절감 효과에 대한 경제성 분석은 비료 제조비용 산출, 사용량에 따른 비료 비용 및 사용 횟수에 따른 인건비를 산출하여 비용 절감을 계산을 아래 수식을 사용하여 관행 시비와 시판 중인 완효성 비료에 대하여 비교하였다 (RDA, 2019).

$$R_C(\%) = \left(1 - \frac{C_B}{C_C}\right) \times 100 \tag{Eq. 1}$$

R<sub>C</sub> = Reduction rate of cost (%)

C<sub>C</sub> = Application cost of conventional farming fertilizer practice

C<sub>B</sub> = Application cost of activated rice hull biochar mixed fertilizer

## Results and Discussion

**왕겨 활성바이오차 혼합 비료 시용에 따른 배추 생육 효과** 배추 엽색도 측정 결과로, 배추 정식 37일 후부터는 무처리와 처리구 간 차이가 나타나기 시작하였으나, 처리구 간에 큰 차이를 보이지는 않았다 (Fig. 1). 배추의 엽장은 정식 37일 후 60% 왕겨 활성바이오차 혼합 비료 처리구에서 관행 대비 유의성 있게 ( $p < 0.05$ ) 높게 나타났다 (Table 3). 배추의 엽폭은 정식 37일 후 100% 왕겨 활성바이오차 혼합 비료 처리구가 다른 처리구에 비해 유의성 있게 높게 나타났다 (Table 4). Oh et al. (2017)은 바이오차의 투입량이 증가하면 배추 생육에 좋지 않은 영향을 미친다고 보고하였는데, 본 시험에서는 배추 생육에 긍정적인 결과로 나타났다. 이는 바이오차가 비료 성분 중의 NH<sub>4</sub>-N을 흡착함으로써 (Choi et al., 2015), 토양 중으로 NH<sub>4</sub>-N를 천천히 방출하게 됨에 따라 배추 생육에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

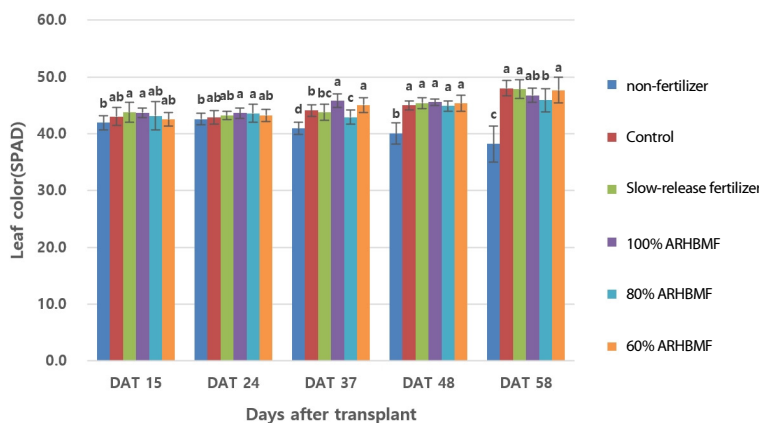


Fig. 1. Effect on leaf color of cabbages to different application ratios of basal fertilizer ( $p < 0.0866$ ).

**Table 3.** Effect on leaf length of cabbages with different treatments.

Treatments	Leaf length (cm)		
	DAT 15	DAT 24	DAT 37
Non fertilizer	18.0 ± 2.3d	29.2 ± 2.6c	35.4 ± 3.4d
Practice	19.8 ± 1.9bc	31.5 ± 1.5ab	37.9 ± 2.8c
Control	17.7 ± 1.9c	30.0 ± 1.8bc	38.8 ± 2.3bc
100% ARHBMF	20.4 ± 1.4a	32.2 ± 1.5a	40.1 ± 1.2ab
80% ARHBMF	19.7 ± 1.8b	33.0 ± 1.7a	41.0 ± 1.7a
60% ARHBMF	18.4 ± 1.7bc	31.8 ± 2.4a	40.8 ± 1.9a
40% ARHBMF	17.5 ± 2.0bc	30.1 ± 2.2bc	39.3 ± 1.6abc
F-value	5.12	6.69	10.89
Pr>F	0.00137	0.001	0.001

Mean values followed by different letters, which indicate significant differences ( $p < 0.001$ ) among treatments with One-way ANOVA by mean comparisons for all pairs using Tukey-Kramer HSD analysis for leaf length and width.

ARHBMF: activated rice hull biochar mixed fertilizer. DAT: days after transplant.

**Table 4.** Effect on leaf width of cabbages to different application ratio of basal fertilizer.

Treatments	Leaf length (cm)		
	DAT 15	DAT 24	DAT 37
Non fertilizer	11.9 ± 1.5d	21.7 ± 2.2d	26.6 ± 2.7d
Practice	13.5 ± 1.0bc	24.6 ± 2.0ab	31.5 ± 2.6c
Control	13.0 ± 1.8c	22.4 ± 2.9cd	33.2 ± 2.4bc
100% ARHBMF	15.3 ± 0.6a	25.9 ± 1.8a	35.3 ± 1.2a
80% ARHBMF	14.3 ± 1.4b	24.0 ± 2.1bc	33.8 ± 1.6ab
60% ARHBMF	13.7 ± 1.3bc	24.0 ± 1.7bc	33.4 ± 2.3b
40% ARHBMF	13.7 ± 1.6bc	23.7 ± 2.6bc	32.9 ± 2.2bc
F-value	5.12	6.69	5.46
Pr>F	0.001	0.001	0.001

Mean values followed by different letters, which indicate significant differences ( $p < 0.001$ ) among treatments with One-way ANOVA by mean comparisons for all pairs using Tukey-Kramer HSD analysis for leaf length and width.

ARHBMF: activated rice hull biochar mixed fertilizer. DAT: days after transplant.

왕겨 활성바이오차 혼합 비료 시비량 절감에 따른 배추 수량 조사결과, 100% 왕겨 활성바이오차 혼합 비료 및 80% 왕겨 활성바이오차 혼합 비료 처리구에서 관행 대비 각각 11%, 5% 증가하였으며, 60% 왕겨 활성바이오차 혼합 비료 처리구에서 관행과 비슷하게 나타났다 (Table 5). Kim et al. (2019)의 biochar pellet 완효성 비료 최적 사용량을 질소 40%로 결정한 시험에서, 바이오차를 함유한 펠렛형 완효성 비료도 기비 사용량을 40% 절감하였을 경우 관행과 비슷한 수량을 보였다는 결과와 마찬가지로 본 실험에서도 밀거름 사용량 40%가 절감되는 것으로 나타났다. 왕겨 활성바이오차 혼합 비료와 관행구를 비교하였을 때, 시비 횟수는 2회 절감할 수 있고 시비량은 52.8% 절감되는 것으로 나타났다. 시판 중인 완효성 비료의 권장사용량과 비교하면 시비량이 37.6% 절감되는 것으로 나타났다.

**왕겨 활성바이오차 혼합 비료의 경제성 평가** 배추에 바이오차 혼합 비료 사용 시 비용은 56,412원  $10a^{-1}$ 이었고, 관행 비료 사용 시 비용은 147,505원  $10a^{-1}$ 이었다. 시판 중인 완효성 비료를 사용할 경우 발생하는 비용은 144,000

**Table 5.** Effect on cabbage yield components to different application ratios of basal fertilizer.

Treatments	Head length (cm)	Head width (cm)	Fresh weight (kg 10a <sup>-1</sup> )	Yield index (%)
Non fertilizer	22.5 ± 3.0c	17.0 ± 3.1c	1.91 ± 0.89c	49
Conventional practice	28.1 ± 1.2ab	21.7 ± 2.1a	3.88 ± 0.55ab	100
Control	26.9 ± 1.0b	21.2 ± 1.5ab	4.14 ± 0.57ab	107
100% ARHBMF	29.1 ± 2.4a	21.7 ± 2.5a	4.31 ± 0.56a	111
80% ARHBMF	28.4 ± 1.6ab	19.8 ± 2.2ab	4.06 ± 0.37ab	105
60% ARHBMF	27.5 ± 1.8ab	21.4 ± 2.0a	3.88 ± 0.70ab	100
40% ARHBMF	27.3 ± 2.7b	19.3 ± 2.8b	3.79 ± 0.40b	98
F-value	15.35	7.24	19.84	-
Pr>F	0.001	0.001	0.001	-

Mean values followed by different letters, which indicate significant differences ( $p < 0.001$ ) among treatments with One-way ANOVA by mean comparisons for all pairs using Tukey-Kramer HSD analysis for leaf length and width.

ARHBMF: activated rice hull biochar mixed fertilizer.

**Table 6.** Benefit analysis of activated rice hull biochar mixed fertilizer during cabbage cultivation.

Division	Fertilizer purchasing cost (Won 10a <sup>-1</sup> )	Labor cost of top-dressing (Won)	Application cost (Won)	Benefit (Won)	Benefits (%)
Activated rice hull biochar mixed fertilizer (A)	56,412	None	56,412	B-A = 91,093	B-A : 61.8%
Conventional practice (B)	90,409	57,096	147,505	C-A = 87,588	C-A : 60.8%
Control (C)	144,000	None	144,000		

ARHBMF: activated rice hull biochar mixed fertilizer.

원 이었다. 관행 시비 시 가장 많은 비용이 발생하였으며, 왕겨 활성바이오차 혼합 비료 사용시 가장 적은 금액이 발생하였다 (Table 6).

왕겨 활성바이오차 혼합 비료 사용 시 관행 대비 비료 비용이 33,997원 10a<sup>-1</sup> 절감되는 것으로 나타났으며, 추비 시비에 따른 노동비 57,096원이 발생하지 않아 총 91,093원 10a<sup>-1</sup>이 절감되는 것으로 나타났다. 기존 시판 중인 완효성 비료 대비해서는 왕겨 활성바이오차 혼합 비료 사용 비용에서 87,588원 10a<sup>-1</sup>이 절감되는 것으로 나타났으며, 추비 시비에 따른 노동비는 차이가 없어 총 87,588원 10a<sup>-1</sup>이 절감되는 것으로 나타났다. 따라서 왕겨 활성바이오차 혼합 비료 사용 시 처리비용이 관행 대비 61.8% 절감되는 것으로 나타났고 대조구 대비 60.8% 절감되는 것으로 나타났다.

비료 가격은 비료 함량 21-17-17과 18-0-16은 각각 20 kg 당 10,150원과 7,750원이었으며, 요소 8,600원으로 산정하였고 (Agricultural management data of RDA, 2019), 시판 완효성비료는 20 kg당 18,000원으로 왕겨 활성바이오차 혼합 비료는 활성 야자수 기준 88,000원, Dolomite은 30 kg에 17,600원, Potassium sulfate은 20 kg에 18,400원으로서 시장가격을 기준으로 산정하였다. 노동비용은 성인남성 하루 8시간 기준 114,190원으로 하여, 추비 노동력을 300평 (10a)에 2시간 기준으로 산정하였다 (Agricultural management data of RDA, 2019). 왕겨 활성바이오차 혼합 비료 공정 비용 산출 시 왕겨를 원료로 한 왕겨활성바이오차가 상용화가 이뤄지지 않아 야자수 활성바이오차의 단가로 경제성 분석을 실시하였고, 정확한 왕겨활성바이오차를 함유한 완효성 비료의 경제성 분석하기 위해서는 왕겨 활성비료의 상용화가 이뤄져야 할 것으로 판단이 된다.



## Conclusions

바이오차 혼합 비료의 사용에 따른 배추 생육에 미치는 효과를 평가하기 위하여 본 연구를 수행하였다. 비료 사용량 절감효과 구명을 위한 생물검정에서 배추의 수량은 60% 왕겨 활성바이오차 혼합 비료를 사용한 처리구에서 대조구와 유사한 수량이 나타났으며, 이를 통해 밀거름 시비량 40% 감량 효과가 있는 것으로 확인되었다. 총 시비량은 관행 대비 52.8% 절감되고, 시비 횟수 1회 처리로 포기당 3.5 kg로서 가장 높았고, 수량 지수는 대조구 대비 20% 증가하였다. 따라서 왕겨 활성바이오차 혼합 비료 효과는 시판중인 완효성 비료의 권장사용량과 비교하면 시비량이 33.7% 절감되는 것으로 나타났다. 경제성평가를 한 결과 처리비용이 관행 대비 61.8% 절감되는 것으로 나타났고, 시판되고 있는 완효성 비료 대비 60.8% 절감되는 것으로 나타났다.

## Acknowledgement

This work was performed with the support of the “Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No : PJ01381401)”, Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

- Ascough, P.L., C.J. Sturrock, and M.I. Bird. 2010. Investigation of growth responses in saprophytic fungi to charred biomass. *Isotopes in Environmental and Health Studies*. 46(1):64-77.
- Cho, K.R. 2014. Development of Single Application Slow-release Fertilizer for Rice Cultivation. Agricultural Research Institute Research Project Report.
- Choi, Y., Kim, S., and Shin, J. 2015. Adsorption characteristics and kinetic models of ammonium nitrogen using biochar from rice hull in sandy loam soil. *Korean J. Soil Sci. fert.* 48(5):413-420.
- Jung, I.H., H.S. Na, M.S. Kim, H.S. Nam, and J.D. Sine. 2020. Effects on Growth Characteristics of Chinese Cabbage to Application of Formulated Granular Fertilizer Contained Activated Biochar. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53(3):366-374.
- Kim, H.S., S.I. Yun, E.S. Jang, and J.D. Shin. 2019. Investigation of an Optimum Application Rate of Blended Biochar Pellet as Slow Release Fertilizer during Cabbage Cultivation. *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*. 27(1):49-56.
- Larid, D., P. Fleming, B.Q. Wang, R. Horton, and D. Karlen. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*. 158(3):436-442.
- Lee, C.G., S.L. Lee, S.Y. Joo, L.H. Cho, S.Y. Park, S.H. Lee, K.C. Kim, and D. Kim. 2017. A Study on Agricultural by-products for Biomass-to-energy Conversion and Korean Collecting Model. *New & Renewable Energy*. 13(1):27-35.
- Lim, G.J. 2017. Reduction of Greenhouse Gases using Horticultural Fertilizer Containing Urease Inhibitor. Agricultural Research Institute Research Project Report.
- Mathews, J.A. 2008. Carbon-negative biofuels. *Energy Policy*. 36(3):940-945.
- Nichols, G.J., J.A. Cripps, M.E. Collinson, and A.D. Scott. 2000. Experiments in waterlogging and sedimentology of charcoal: Results and implications. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. 164(1):43-56.
- Oh, T.K., J.H. Lee, S.H. Kim, and H.C. Lee. 2017. Effect of biochar application on growth of Chinese cabbage

- (*Brassica chinensis*). KJOAS. 443:359-365.
- Park, J.H. 2015. Development of Technology for the Reduction of Greenhouse Gases and Soil Carbon Toxicity. Gyeongsangbuk Prvice Agricultural Science Center Agricultural Science Technology Development Research Report.
- RDA (Rural Development Administration). 2017. Criteria for Prescription of Crops, National Institute of Agricultural Sciences.
- RDA (Rural Development Administration). 2019. Agricultural management data of RDA in 2019 - Collection of Agricultural Science and Technology Economic Analysis Criteria.
- Woo, S.H. 2013. biochar for soil carbon sequestration. *Clean Technology*. 19(3):201-2011.
- Xiao, F., A.H. Bedane, J.X. Zhao, M.D. Mann, and J.J. Pignatello. 2018. Thermal air oxidation changes surface and adsorptive properties of black carbon (char/biochar). *Science of the Total Environment*. 618:276-283.
- Zhang, A., L. Cui, G. Pa, L. Li, Q. Hussain, X. Zhang, J. Zheng, and D. Crowley. 2010. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. *Agric. Ecosyst. Environ.* 139:469-475.
- Zhang, X., S. Kondragunta, C. Schmidt, and F. Kogan. 2008. Near real time monitoring of biomass burning particulate emissions (PM<sub>2.5</sub>) across contiguous United States using multiple satellite instruments. *Atmospheric Environment*. 42(29):6959-6972.
- Zhang, X., Zhang, L. and Li, A. 2017. Hydrothermal co-carbonization of sewage sludge and pinewood sawdust for nutrient-rich hydrochar production: synergistic effects and products characterization. *J. Environ. Manag.* 201:52-62.