

Research Article



CrossMark

Open Access

## 가시박의 질소비료 대체재로서의 이용 가능성

김민석<sup>1</sup>, 민현기<sup>1</sup>, 홍선희<sup>2</sup>, 김정규<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 환경생태공학과, <sup>2</sup>고려대학교 환경생태연구소

### The applicability of burcucumber (*Sicyos angulatus* L.) as a substitute for nitrogen fertilizer

Min-Suk Kim<sup>1</sup>, Hyungi Min<sup>1</sup>, Sun-Hee Hong<sup>2</sup> and Jeong-Gyu Kim<sup>1\*</sup> (<sup>1</sup>Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 02841, Korea, <sup>2</sup>Institute of Environment and Ecology, Korea University, Seoul 02841, Korea)

Received: 18 February 2016 / Revised: 21 March 2016 / Accepted: 24 March 2016

Copyright © 2016 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

Min-Suk Kim

<http://orcid.org/0000-0002-5255-7607>

Jeong-Gyu Kim

<http://orcid.org/0000-0002-5734-1311>

#### Abstract

**BACKGROUND:** Burcucumber(*Sicyos angulatus* L.) is an invasive plant species and disturbs ecosystems in Korea. The main method for prevention of burcucumber is cutting or pulling out. However, the studies accounting for the use of the by-product of burcucumber after cutting remain incomplete. Thus, the aim of this study was to investigate the applicability of burcucumber as a substitute for nitrogen fertilizer.

**METHODS AND RESULTS:** Burcucumber plants only including stem, leaves, and petiole were collected from the Sky Park in Seoul and divided in to three categories based on the length of stem of burcucumber; 10-30 cm, 30-100 cm, and 100-200 cm. And they were input into soil with 20 kg-N/10 a. After 4 weeks aging, chemical properties of treated soils and the productivity of lettuce(*Lactuca sativa* L.) were examined. Both the inorganic nitrogen contents in soils and the growth of lettuce were increased with the decreases in length of burcucumber standing for young plant. And the inorganic nitrogen content and the

productivity of lettuce were positively correlated( $r=0.9409$ ).

**CONCLUSION:** The C/N ratio of burcucumber was low, indicating fast decomposition and nitrogen supplying rate, resulting in the increase in lettuce growth. Burcucumber could be a good substitute for nitrogen organic fertilizer.

**Key words:** Burcucumber, Crop productivity, Lettuce, Nitrogen fertilizer substitute, Nitrogen use efficiency

#### 서론

가시박(*Sicyos angulatus* L.)은 북아메리카 원산인 일년생 덩굴성 식물로, 유럽, 호주, 아시아 지역에서 널리 분포하고 있다(Moon *et al.*, 2007). 가시박의 생육속도는 매우 빠르고 종자생산량이 많으며 종자 발생 후에는 종피 가시 때문에 가시박으로의 접근과 제거가 어려워 쉽게 군락을 이루는 경우가 대부분으로, 자생 식물의 생육을 억제하고 최종적으로 식물 다양성을 감소시키는 것으로 알려져 있다(Lee *et al.*, 2007; Moon *et al.*, 2007; Kang *et al.*, 2011). 이에 환경부에서는 생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률을 통해 가시박을 생태계교란 식물로 지정하여 관리하고 있다(MoE, 2015).

가시박을 제거 하는 작업은 크게 인력을 동원한 예취와 어린 시기의 식물(유묘)을 물리적으로 제거하는 방법과 제초제를 이용한 화학적인 제거 방법으로 나눌 수 있다. Moon 등

\*Corresponding author: Jeong-Gyu Kim  
Phone: +82-2-3290-3024; Fax: +82-2-921-7628;  
E-mail: lemonkim@korea.ac.kr

(2008)의 국내 가시박 분포에 대한 연구에 따르면 가시박의 주된 발생지와 군락지는 대부분 강이나 하천변으로 2차 오염에 따른 상수원 오염 등의 이유로 제초제의 사용에 어려움이 있는 실정이다(Choi et al., 2012; Lee et al., 2013 Lim et al., 2014). 이를 해결하기 위해 d-Limonene, chrysophanic acid, pelargonic acid, ethyl acetate fraction 등의 친환경 물질과 천연물 유래물질을 개발하고 가시박을 방제하려는 시도가 있었으나 실용화하기에는 어려운 단계에 있다(Choi et al., 2010; Kang et al., 2011). 따라서 아직은 가시박 관리와 제거가 예취와 어린 식물 뽑기 등의 방법으로 진행되고 있으며 이 때 발생하는 가시박 바이오매스의 활용 방안의 필요성이 제기되고 있다. 최근 Lim 등(2014)은 가시박을 바이오차로 만들어 항생물질 흡착제로써의 이용성을 보고한 바 있으나 이 외에 보고는 국내외적으로도 매우 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 가시박의 높은 질소 요구도와 질소함량이 높은 것에 기초하여 질소 비료 대체제로써의 가시박 바이오매스의 이용가능성을 확인하기 위해 수행되었으며, 동시에 가시박 성장 시기에 따른 질소 공급 영향도 확인하였다.

## 재료 및 방법

### 공시시료

본 실험에 사용된 가시박(*Sicyos angulatus* L.) 시료는, 서울특별시 마포구 월드컵 공원 내 하늘공원의 남사면에 위치한 가시박 군락지에서 2015년 7월 3일에 채취하였으며, 시료는 가시박의 줄기, 잎자루, 그리고 잎을 대상으로 하였다(목질화된 줄기 하단부와 덩굴손은 제거). 시료 채취 당시 가시박 시료의 성장 차이에 따라 가시박의 줄기를 기준으로 10-30 cm, 30-100 cm, 100-200 cm 로 구분하여 채취하였으며, 채취한 시료는 바로 실험실로 운반하여 수돗물과 증류수로 세척한 뒤 60°C dry-oven에서 48시간 건조시킨 후 분쇄하여 0.5 mm 이하의 것을 실험에 사용하였다.

실험에 사용한 공시 토양은 충청북도 단양군 적성면 하원곡리에 위치한 야산에서 오염물질에 의해 오염되지 않은 토양으로, 채취한 토양은 풍건 후 2 mm 체로 걸러서 실험에 사용하였다.

### 처리구 설치 및 상추 재배

질소비료 대체제로써의 가시박의 이용 가능성을 확인하기 위하여 가시박의 유효 질소공급 효과와 그에 따른 작물의 성장량을 비교하기 위한 실내 실험을 진행하였다. 앞서 준비한 세 종류 성장시기의 가시박 시료를 공시 토양에 대조구를 포함하여 처리한 후 증류수를 이용하여 포장용수량의 60%를 유지하면서 4 주간 aging 하였다. 가시박 시료의 처리 농도는 농촌진흥청에서 제시하는 엽경채류 대상 표준 질소 시비량인 20 kg/10a에 근거하여(RDA, 2013) 세 종류 각각의 가시박 시료 내 총 질소의 함량을 고려하여 동일 당량의 총 질소량이 투입될 수 있게 계산하여 처리하였다(0.1-0.125%). Aging 이 종료된 토양 시료는 풍건 후 2 mm 체로 거른 후

Petri-dish(50 mm × 10 mm)에 각각 30 g 씩 넣고 상추(*Lactuca sativa* L.) 종자를 10개 씩 일정한 간격으로 심었다. 토양 포장용수량의 60%에 해당하는 증류수를 넣고 암실 20°C의 저온 배양기에(Low temperature incubator)에서 발아 시킨 후 배양실로 옮겨 3 주간 재배하였다. 배양실에서 상추의 재배는 140±5 μmol/m<sup>2</sup>/s 광도와 주간(16 시간, 24±1°C), 야간(8시간, 18±1°C)의 광주기 조건에서 실시되었다. 재배가 완료된 상추는 지상부만을 대상으로 전량 수확하여 생중량을 측정하고 증류수로 세척한 후 60°C dry-oven에서 48시간 건조시킨 후 0.5 mm 이하로 분쇄하였다.

### 시료의 분석

Aging 이후 토양 시료의 pH와 전기전도도(Electrical conductivity, EC)는 증류수를 1:5 비율로 한 시간 교반한 후 측정하였다(Thermo Orion 920A, USA). 토양 내 총 질소(Total nitrogen, T-N)의 함량은 105°C에서 24시간 건조 후 원소분석기(Flash EA 1112 Series ,CE Instruments, UK)를 이용하여 정량하였다. 토양 무기태 질소(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>+NO<sub>2</sub><sup>-</sup>+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)는 농업과학기술원의 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2000)에 따라 킬달증류법(Kjeldahl distillation)을 이용하여 분석하였다.

건조 후 분쇄한 가시박 시료와 상추 시료는 105°C에서 24시간 건조 후 원소분석기(Flash EA 1112 Series ,CE Instruments, UK)를 이용하여 총 탄소와 총 질소 함량을 정량하였다.

### 데이터 분석

모든 실험은 3반복으로 수행하였으며 실험 결과는 3반복의 평균값으로 나타내었다. 처리별 유의성 분석은 SAS 프로그램(SAS 9.2, USA)의 PROC GLM: general linear model 검정으로 실시하였다(SAS Institute, 1990).

## 결과 및 고찰

### 공시 시료의 특성

국내에서 가시박 종자가 5월부터 발아가 시작하는 것을 고려해 볼 때, 본 연구에서 채취한 7월은 다양한 성장 시기의 가시박이 분포하는 시기이므로 성장단계를 줄기의 길이로 구분하였다. 10-30 cm의 가시박의 경우 3-5 매의 작은 잎으로 구성되어 있었으며 덩굴손은 발달하지 않았으며, 30-100 cm의 가시박 시료는 줄기 하부에는 큰 잎이, 줄기 상부에는 작은 잎이 혼재하였으며 짧은 덩굴손은 존재하는 상태였다. 100-200 cm의 가시박 시료는 줄기 하단부에서는 목질화가 진행되는 것이 관찰되었으며 매우 다양한 크기의 잎이 존재하였으며 덩굴손도 매우 길게 존재하였다.

본 실험에 사용한 가시박 시료의 총 탄소와 총 질소의 함량을 정량분석 하였다(Table 1). 가시박 시료 구분 시 줄기 길이가 짧을수록 어린 식물체를 의미하며, 어릴수록 질소의 함량이 높아지면서 동시에 C/N율은 낮아지는 경향성(10.5

**Table 1. Total carbon and total nitrogen contents of burcucumber (*Sicyos angulatus* L.)**

	Total carbon (%)	Total nitrogen (%)	C/N ratio
10-30 cm	37.2±4.3	5.0±0.4	7.4
30-100 cm	38.9±1.0	4.5±0.6	8.6
100-200 cm	39.7±1.4	4.0±1.4	10.5

**Table 2. Chemical properties of soils treated with three types of burcucumber (*Sicyos angulatus* L.) after 4 weeks\***

	pH	EC <sup>a)</sup>	T-N <sup>b)</sup>	Ninorganic <sup>c)</sup>
Control	7.98 a	0.41 c	0.22 a	1.68 c
10-30 cm	8.06 a	0.47 ab	0.20 a	3.43 a
30-100 cm	8.07 a	0.50 a	0.21 a	2.58 b
100-200 cm	8.16 a	0.45 bc	0.20 a	2.58 b

\*Different letter indicates significant differences at the 5% level by Duncan's test

<sup>a)</sup> Electrical conductivity (ds/m), <sup>b)</sup> total nitrogen content (%), <sup>c)</sup> inorganic nitrogen content (mg/kg)

→ 8.6 → 7.4)을 보였다. Kim 등(2014)은 질소 고정능력이 있는 대표적인 콩과(Leguminosae) 작물인 헤어리베치, 레드클로버, 그리고 알팔파의 C/N을 각각 10.4, 9.4, 8.9로 보고한 바 있다. 본 연구에 사용한 가시박은 박과(Cucurbitaceae)임에도 불구하고 가시박의 높은 질소 요구도와 그에 따른 질소의 흡수 및 축적으로 콩과작물에 준할 만큼의 낮은 C/N율을 나타내었다(Asaeda *et al.*, 2011). 식물체의 토양 환원 시 식물체의 분해와 질소의 방출과정은 식물체의 C/N율이 낮을수록 방출 속도가 빨라지며(Seo *et al.*, 1998), 토양 질소 유기화의 기준 C/N율인 25를 고려해볼 때(Allison 1966), 세 종류의 가시박 시료 모두 토양 환원 시 분해 초기부터 질소가 방출되어 토양에 공급될 것으로 판단된다.

#### 가시박 환원에 따른 토양 특성 변화

대조구 및 세 종류의 가시박 시료 환원 그리고 aging 이 후 토양 화학성을 확인하였다(Table 2). 대조구 토양의 pH는 7.98로 중성이었으며 유기물과 무기태질소의 함량도 적은 것으로 나타났다. 가시박이 환원된 토양의 경우 토양 pH는 증가하는 경향이 나타났으나 유의한 수준은 아니었으며 EC에 소폭의 변화가 나타났다. T-N의 경우 대조구 대비 가시박 처리구에서 유의한 증가가 나타나지 않았는데, 이는 가시박 식물체 내 탄소(37-39%)에 비해 상대적으로 낮은 질소(4-5%) 함량과 더불어 매우 적은 가시박 투입량(토양 무게에 대비하여 0.1-0.125% 수준으로 투입) 때문에 질소 공급효과가 약하게 나타난 것으로 판단된다. 반면 무기태질소는 모든 가시박 처리구에서 유의하게 증가하였다. 토양 미생물에 의한 유기질소의 무기화작용은 C/N율이 낮을 때 빠르게 진행되는데, 본 연구에 사용한 세 종류의 생장 시기별로 채취한 가시박 시료는 모두 낮은 C/N율(7.4-10.5)을 나타내어 이들이 토양에 환

원된 후 미생물에 의해 빠르게 분해되어 토양 무기태질소의 함량을 유의하게 증가시킨 것으로 판단된다(Lee *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2012). 특히 가장 어린 가시박(10-30 cm)이 환원된 처리구에서 무기태질소가 가장 많이 증가하였고 나머지 두 처리구에서는 유사한 정도로 증가하였다. 가시박 생장 시기에 따른 무기태질소 공급효과의 차이는, 어린 가시박 시료의 C/N율이 7.4로 가장 낮아 분해에 조금 더 유리하다는 점과 가시박의 생장이 지속 될수록(100-200 cm) 리그닌과 같은 조직이 증가하여 미생물에 의한 분해속도가 상대적으로 느리다는 점에 기인한 것으로 판단된다.

질소함량이 상대적으로 높은 콩과작물을 이용하여 화학비료 사용량을 저감하는 연구는 활발히 진행되어왔다. 헤어리베치를 밭에 환원함으로써 콩과 옥수수 생산량이 증대한 연구 결과도 보고된 바 있으며(Seo and Lee, 2003; Kim *et al.*, 2011), Kim 등(2014)는 헤어리베치뿐만 아니라 레드클로버와 알팔파를 시용하였을 때 토양 무기태 질소가 증가하는 것을 확인하였다. 본 연구 결과를 통해 토양 질소 공급을 통한 비옥도 증진효과가 콩과작물 뿐만 아니라 본 연구 결과를 통해 비콩과작물인 가시박에서도 나타남을 확인할 수 있었으며 이러한 결과는 후속 작물의 성장에도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

#### 가시박 환원에 따른 상추의 생장량 변화

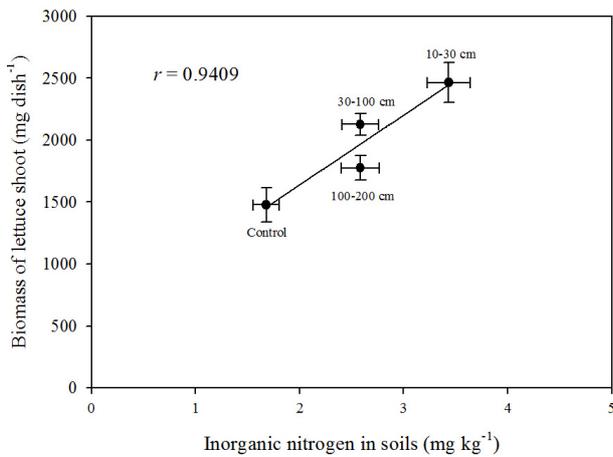
앞선 결과에서 가시박의 생육 시기에 따른 차이는 있었지만 가시박의 토양 환원은 무기태질소를 유의하게 증가시켰으며, 이러한 증가는 후속 상추 재배 시 상추의 성장에도 유의한 영향을 주었다(Table 3). 추가적인 질소의 투입이 없었던 대조구(Control)에서 상추가 평균 1,478 mg/dish(생중량 기준)로 성장하였고, 가시박 환원을 통한 질소가 공급된 모든 처리구에서는 상추의 생장량이 유의하게 증가하였다. 특히,

**Table 3. Effects of treatment of burcucumber (*Sicyos angulatus* L.) on productivity, carbon and nitrogen contents, and nitrogen use efficiency of lettuce**

	Biomass <sup>a)</sup>	T-C <sup>b)</sup>	T-N <sup>c)</sup>	NUE <sup>d)</sup>
Control	1,478 d	41.1 b	3.1 a	0.69 d
10-30 cm	2,465 a	41.2 b	3.1 a	1.28 a
30-100 cm	2,127 b	40.9 b	2.8 a	0.95 b
100-200 cm	1,775 c	42.5 a	2.4 b	0.72 c

\*Different letter indicates significant differences at the 5% level by Duncan's test

<sup>a)</sup> Fresh weight of lettuce shoot (mg/dish), <sup>b)</sup> total carbon content (%), <sup>c)</sup> total nitrogen content (%), <sup>d)</sup> nitrogen use efficiency of lettuce (N in lettuce-g/N in soil-g)



**Fig. 1. Relationship between inorganic nitrogen contents in soils and biomass of lettuce shoot.**

식물이 쉽게 이용할 수 있는 무기태질소의 함량이 가장 높았던 10-30 cm 가시박 처리구에서 상추 성장량이 2,465 mg/dish로 가장 높게 나타났으며 이 값은 대조구와 비교 시 167% 증가한 것이다. 30-100 cm와 100-200 cm의 가시박 시료가 처리되었을 때에도 각각 144%와 120% 이상 상추 성장량이 증가하였으며, 위 실험 결과를 이용하여 토양 내 무기태질소의 함량과 상추의 성장량 사이의 관계도 확인하였다 (Fig. 1). 대조구 대비 토양 무기태 질소의 함량 분포와 그에 따른 상추의 성장량은 양의 상관관계를 보여주었으며 ( $r=0.9409$ ) 이는 앞서 예상한 결과와 일치하는 것으로, C/N율이 낮아 미생물 분해에 용이한 가시박의 토양 투입은 토양 중 무기질소의 증가뿐만 아니라 실제 작물의 성장량까지 증가시키는 것을 실험을 통해 확인할 수 있었다. 특히, 크기가 작은 가시박 시료를 투입한 처리구에서의 무기질소함량과 상추의 성장량이 가장 높았으며, 채취한 가시박의 줄기 길이가 길수록 상추의 성장량은 점점 감소하는 경향을 보였다.

#### 상추의 질소이용효율 변화

농경지에서 투입된 질소를 작물이 효율적으로 흡수 이용하지 못하거나 또는 식물이 이용가능하지 못한 형태로 남아있는 질소는 질소 유실에 의한 수계오염부하 증대 또는 대기

의 방출로 지구온난화에도 영향을 줄 수 있다(Jin *et al.*, 2005; Mosier *et al.*, 1998). 따라서 가시박의 토양 투입이 환경에 미치는 영향을 간접적으로 확인하기 위하여 상추의 질소이용효율(Nitrogen use efficiency, NUE)을 계산하였으며 토양 총 질소에 대한 산출물(상추의 바이오매스)의 비율로 Table 3에 표현하였다(Chang *et al.*, 2011). 상추가 토양 내 질소를 이용한 효율은 상추성장량이 가장 많았던 어린 가시박 처리구(10-30 cm)에서 1.28 (N in lettuce-g/N in soil-g)으로 가장 높게 나타났으며 상추 성장량 경향과 동일한 순서로 감소하였다. 성장량과 질소이용효율의 동일한 경향성 결과를 통해 가시박 환원에 따른 추가적인 질소 공급이 상추의 질소이용효율을 감소시킬 정도로 과하지 않은 것으로 나타났기 때문에, 본 연구에서 사용한 적정량의 가시박 토양 환원에 의한 수계 또는 대기로의 질소 방출영향은 매우 미미할 것이라 판단된다.

#### 요 약

본 연구는 생태계교란 식물인 가시박 방제 작업으로 발생한 가시박 바이오매스의 질소비료 대체제로써의 이용 가능성을 평가하기 위해 수행되었다. 서로 다른 성장 시기의 가시박 시료를 채취 및 토양에 처리하여 무기태질소 함량과 상추 성장량의 변화를 분석하였다. 동일한 총 질소 당량의 가시박을 투입하였음에도 불구하고 토양 무기태 질소의 함량은 투입한 가시박의 성장시기가 어릴수록 증가하였고, 그에 따른 상추의 성장량 역시 가시박의 성장시기가 어릴수록 증가하는 경향이 나타나 무기태 질소와 상추 성장량 사이에 높은 양의 상관( $r=0.9409$ )을 보였다. 종합해보면, 질소화학비료 대체제로써의 가시박의 이용 가능성을 실험을 통해 확인할 수 있었으며, 가시박의 물리적 방제 용이성과 가시박에 의한 질소공급효과 및 후작 작물의 성장 측면에서 가급적 어린 유효 상태에서 가시박을 제거하고 그 바이오매스를 이용하는 것이 유리해 보인다. 하지만 자연 상태의 토양 내 가시박 종자들은 어느 한 순간에 모두 발아되는 것이 아니라 시간 차이를 두고 2-4달 동안 지속적으로 발아하는 현상의 특성을 고려해야 하며, 더하여 현장 적용 시 가시박 시료 분쇄 크기의 한계와 인력 동원 비용을 포함한 비용편익 분석 등의 후속 연구가 필요해 보인다.

## Acknowledgment

This subject is supported by Korea Ministry of Environment(MOE) as "Public Welfare Technology Development Program"(2014000210001)

## References

- Allison, F. E. (1966). The fate of nitrogen applied to soils. *Advances in Agronomy*, 18, 219-258.
- Asaeda, T., Rashid, Md. H., Kotagiri, S., & Uchida, T. (2011). The role of soil characteristics in the succession of two herbaceous lianas in a modified river floodplain. *River Research and Application*, 27(5), 591-601.
- Chang, A., Choi, J. Y., Park, S. K., Kim, D. H., & Bae, S. C. (2011). Improvement of nitrogen use efficiency for sustainable and productive agriculture. *Korean Journal of Breeding Science*, 43(5), 349-359.
- Choi, J. S., Jang, H. W., Seo, B. R., Hwang, H. J., Kim, J. D., Kim, J. S., Chun, J. C., & Kim, S. M. (2010). Herbicidal activity of chrysophanic acid in semi-field condition. *Korean Journal of Weed Science*, 30(4), 429-436.
- Choi, J. S., Ko, Y. K., Cho, N. G., Hwang, K. H., & Koo, S. J. (2012). Herbicidal activity of d-Limonene to burcucumber (*Sicyos angulatus* L.) with potential as natural herbicide. *Korean Journal of Weed Science*, 32(3), 263-272.
- Jin, X., Xu, Q., & Huang, C. (2005). Current status and future tendency of lake eutrophication in China. *Science in China. Series C, Life Sciences*, 48(2), 948-954.
- Kang C. K., Oh, Y. J., Lee, S. B., Lee, B. M., Nam, H. S., Lee, Y. K., Jee, H. J., Hong, M. K., & Koo, S. J. (2011). Herbicidal activity of naturally developed d-Limonene against *Sicyos angulatus* L. under the greenhouse and open field condition. *Korean Journal of Weed Science*, 31(4), 368-374.
- Kim, S. W., Seo, Y. H., Choi, Y. B., Ahn, M. S., & Kang, A. S. (2011). Effect of mixed sowing of hairy vetch and rye on green manure yield in mountainous highland. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 44(3), 442-447.
- Kim, M. S., Min, H. G., Lee, B. J., Kim, J. G., & Lee, S. H. (2014). The effects of the short-term cultivation and incorporation of legume green manures on the chemical properties of soil contaminated with heavy metals. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 33(3), 155-163.
- Lee, B., Kim, J. D., Kim Y. S., Ko, Y. K., Yon, G. H., Kim, C. J., Koo, S. J., & Choi, J. S. (2013). Identification of *Streptomyces scopuliridis* KR-001 and its herbicidal characteristics. *Weed and Turfgrass Science*, 2(1), 38-46.
- Lee, I. Y., Oh, S. M., Moon, B. C., Kim, C. S., So, J. S., Park, J. E., Park, N. I., Oh, J. B., Kwon, O., & Lee, Y. K. (2007). Weeding effect of troublesome exotic weeds, *Sicyos angulatus* and *Amaranthus spinosus*, by several herbicides. *Korean Journal of Weed Science*, 27(3), 195-201.
- Lee, J. H., Lee, B. M., Shim, S. I., Lee, Y., & Jee, H. J. (2011). Effects of crimson clover, hairy vetch, and rye residue mulch on weed occurrence, soybean growth, and yield in soybean fields. *Korean Journal of Weed Science*, 31(2), 167-174.
- Lee, S. M., Lee, S. B., Lee, B. M., Cho, J. L., An, N. H., Lee, Y., Yun, H. B., Kuk, Y. I., & Choi, H. S. (2012). Changes of soil biological properties as affected by crop rotation of rye and hairy vetch in welsh onion and red pepper cultivation. *Journal of Korean Society of International Agriculture*, 24(4), 412-416.
- Lim, J. E., Kim, H. W., Jeong, S. H., Lee, S. S., Yang, J. E., Kim, K. H., & Ok, Y. S. (2014). Characterization of burcucumber biochar and its potential as an adsorbent for veterinary antibiotics in water. *Journal of Applied Biological Chemistry*, 57(1), 65-72.
- Moon, B. C., Park, T. S., Cho, J. R., Oh, S. M., Lee, I. Y., Kang, C. K., & Kuk, Y. I. (2007). Characteristics on emergence and early growth of burcucumber (*Sicyos angulatus*). *Korean Journal of Weed Science*, 27(1), 36-40.
- Moon, B. C., Oh, S. M., Lee, I. Y., Kim, C. S., Cho, J. R., & Kim, S. C. (2008). Change of weed species in burcucumber (*Sicyos angulatus* L.) community and domestic distribution aspect. *Korean Journal of Weed Science*, 28(2), 117-125.
- Mosier, A., Kroeze, C., Nevison, C., Oenema, O., Seitzinger, S., & Cleemput, O. (1998). Closing the global N<sub>2</sub>O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 52(2-3), 225-248.
- SAS Institute (1990). *SAS User's guide*, fourth ed. SAS Institute, Cary, NC, US.
- Seo, J. H., Lee, H. J., Kim, S. J., & Hur, I. B. (1998). Nitrogen release from hairy vetch (*Vicia villosa*) residue in relation to different tillages and plant growth stage. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 31(2), 137-142.
- Seo, J. H. & Lee, H. J. (2003). Soil mineral nitrogen uptake and corn growth from hairy vetch with conventional and no-tillage systems. *Korean Journal of Crop Science*, 48, 381-387.