

## Does Co-Application of Compost and Mineral Fertilizers Reduce Gaseous Nitrogen (NH<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>O) Losses and Improve Nitrogen Use Efficiency from Maize-Growing Soil?

Hyerin An<sup>1</sup>, Yeomyeong Lee<sup>1</sup>, Juhee Lee<sup>1</sup>, Sohee Yoon<sup>1</sup>, Seong-Jik Park<sup>2</sup>, Sung-Chang Hong<sup>3</sup>, Jin-Ho Kim<sup>4</sup>, and Sang Yoon Kim<sup>5,6\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate Student, Department of Agricultural Chemistry & Interdisciplinary Program in IT-Bio Convergence System, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

<sup>2</sup>Professor, Department of Bioresources and Rural System Engineering, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

<sup>3</sup>Researcher, Climate Change Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

<sup>4</sup>Senior Researcher, Climate Change Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

<sup>5</sup>Professor, Department of Agricultural Life Science, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

<sup>6</sup>Professor, Department of Agricultural Chemistry & Interdisciplinary Program in IT-Bio Convergence System, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

\*Corresponding author: [sykim@scnu.ac.kr](mailto:sykim@scnu.ac.kr)

### ABSTRACT

**Received:** January 31, 2023

**Revised:** February 20, 2023

**Accepted:** February 21, 2023

#### Edited by

Chang Hoon Lee,  
Korea National College of  
Agriculture and Fisheries, Korea

#### ORCID

Sang Yoon Kim  
<https://orcid.org/0000-0003-4914-3080>

Nitrogen (N) has been considered one of the vital elements to enhance agricultural productivity. However, excessive use of N fertilizer can deteriorate environmental quality, increasing ammonia (NH<sub>3</sub>) and greenhouse gases (GHGs) emissions from agricultural ecosystems. The combined use of inorganic and organic fertilizers may improve nutrient holding capacity, which can potentially reduce N losses (NH<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>O), resulting in high N use efficiency (NUE) and crop productivity. To investigate gaseous N losses and NUE in a maize (*Zea mays* L.) field experiment, four treatments for N fertilizers were laid out: NPK (urea), compost (compost), NPK+Compost (urea and compost), and control (no fertilizer) treatments. As compared to the control, seasonal NH<sub>3</sub> emissions significantly increased with all fertilization. In particular, combination of organic and inorganic fertilizers was effective on reducing N losses including NH<sub>3</sub> volatilizations and N<sub>2</sub>O emissions, showing ca. 16% and 47% reduction, respectively over sole NPK treatment even though the same amount of N was incorporated in all treatments except the control. Maize productivity was significantly improved by N fertilizations, but was the highest in the NPK+Compost treatment, showing no statistical difference with NPK treatment. The NUE was the highest in the NPK treatment (35%) and followed by NPK+Compost (27%), compost (11%), respectively. In conclusion, mixing of organic-inorganic fertilizers could be a reasonable countermeasure to reduce the loss of gaseous N and simultaneously maintain productivity and NUE in agricultural soils.

**Keywords:** Ammonia, Combined application, Corn, Nitrogen use efficiency, Nitrous oxide



The amount of ammonia volatilization, nitrous oxide emission and total gaseous N losses at different N fertilization regimes from maize-growing soil.

Treatments	Total N input (kg ha <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> -N loss (kg ha <sup>-1</sup> )	N <sub>2</sub> O-N loss (kg ha <sup>-1</sup> )	Total N losses	
				(kg ha <sup>-1</sup> )	(%)
Control	-	4.24 c <sup>†</sup>	0.84 b	5.08 c	-
NPK	158	6.74 a	2.93 a	9.66 a	6.11 a
Compost	158	4.50 c	1.44 b	5.94 c	3.76 b
NPK+Compost	158	5.64 b	1.55 b	7.19 b	4.55 b

<sup>†</sup>Different letters for each row showed a significant difference at  $p \leq 0.05$  according to LSD's test.

## Introduction

급격한 인구 증가와 식량 부족으로 질소비료는 식량생산 증진을 위해 없어서는 안 될 필수 요소 중 하나이다 (Valin et al., 2014). 하지만 질소비료의 사용은 가스형태인 암모니아 (NH<sub>3</sub>) 및 아산화질소 (N<sub>2</sub>O)로 질소 손실을 촉진시켜 농경지에서 질소 이용효율을 감소시킬 수 있다 (Dimkpa et al., 2020).

작물 질소 흡수량의 지표가 되는 질소이용효율 (nitrogen use efficiency, NUE)은 일반적으로 작물 재배에 투입되는 질소 투입량에 대한 식물체의 질소흡수량의 비율로 나타내며 (Iqbal et al., 2019), 일반적으로 알려진 식물의 질소 이용효율은 25 - 50% 미만으로 추정되고 있다 (Raun and Johnson, 1999).

가스형태의 질소는 농경지에서 주요한 손실경로로써 다양한 형태로 환경에 악영향을 끼칠 수 있다. 특히, 토양 pH가 비교적 높은 알칼리 조건에서 암모니아태 질소가 가스형태인 암모니아로 휘산될 수 있으며 (Xu et al., 2019), 탈질과정에서 발생하는 아산화질소는 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>)의 약 300배에 달하는 강력한 온실가스이기도 하다 (Trogler, 1999). 다양한 과정으로 손실된 질소는 작물 생산성을 낮출 뿐만 아니라 환경 문제를 악화시킬 수 있기 때문에 질소 이용 효율을 증진시키면서 오염원이 되는 가스성 질소의 손실을 최소화할 수 있는 합리적 시비방법의 개발이 요구되고 있는 실정이다.

유·무기질 비료의 혼용은 토양에서 유기물 공급을 통해 토양질을 향상시키며, 토양에서 양이온교환용량 (cation exchangeable capacity, CEC)을 증진시켜 농경지에서 질소 손실을 효과적으로 저감시키는 방안이 될 수 있다 (Pernes-Debuyser and Tessier, 2004; Liu et al., 2021; An et al., 2022). 따라서 본 연구에서는 옥수수 재배 밭 토양에서 유·무기질 비료 혼용이 가스형태 질소손실 저감 및 질소 이용효율 증진에 미치는 영향을 평가하였다.

## Materials and Methods

**포장설치 및 재배관리** 유·무기질 비료의 혼용 효과를 조사하기 위해 전라남도 순천시 순천대학교 교내 시험 연구 포장에서 실험을 진행하였다. 공시토양의 화학적 특성은 pH 7.8, EC 0.4 dS m<sup>-1</sup>, Total C 7.5 g kg<sup>-1</sup>, Total N 0.6 g kg<sup>-1</sup>로 선행연구와 동일한 장소의 시험구에서 수행되었다 (An et al., 2022). 공시작물로는 옥수수 (*Zea mays* L.)를 선발하였으며, 2020년 6월 2일부터 8월 20일까지 총 80일간 재배하였다. 처리구는 완전 임의배치로 3반복 처리하였으며, 시비처리구는 무처리 (control), 무기질 비료 단용 처리구 (NPK), 유기질 비료 단용 처리구 (compost), 유·무기질 혼용 처리구 (NPK+Compost, 50:50)로 설정하였다. 각각의 처리에는 농촌진흥청 국립농업과학원 작물별 비료

사용처방 (NIAST, 2019)에 고시된 옥수수의 표준시비량인 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O (158-30-63 kg ha<sup>-1</sup>)을 기준으로 처리하였으며, 무처리를 제외한 처리구에서 모두 동일한 양의 질소를 요소 (urea) 또는 퇴비로 처리하였다. 비료는 정식 직전 기비와 정식 4주 후 추비로 총 2회 분시하여 주었으며, 총 질소 시비량을 기준으로 각각 50%씩 처리하였다. 단, 퇴비 혼용 처리구의 경우 퇴비는 전량 기비로 처리하였다. 비료 처리 후 토양은 비닐 멀칭 처리를 하였으며, 옥수수는 20 × 30 cm의 재식거리로 한 시험구당 8주씩 포트 모종으로 정식하였다. 보다 상세한 재배관리 및 비료처리방법은 선행연구인 An et al. (2022)의 논문에 기술하였다. 시험에 유기질 비료로 사용된 퇴비는 일반 시판 퇴비를 사용하였으며, 화학적 특성은 pH 7.5, Total C 268 g kg<sup>-1</sup>, Total N 19.7 g kg<sup>-1</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 1,089 mg kg<sup>-1</sup>로 조사되었다 (An et al., 2022).

**암모니아 휘산량 및 아산화질소 배출량 조사** 옥수수 재배기간 중 암모니아 휘산량은 정적챔버법 (static chamber method)을 이용하여 포집하였다 (Lee et al., 2021). 암모니아 가스의 포집을 위해 표면적 0.011 m<sup>2</sup> (지름: 12 cm, 높이: 30 cm)의 원통형 투명 아크릴 챔버를 각 처리에 3반복으로 설치하였다. 가스 포집은 24시간 동안 이루어졌으며 비료 시비 직후 일주일간 1일 1회, 그 이후에는 배출량의 증감을 고려하여 주 1 - 2회 실시하였다. 암모니아의 정량은 Indophenol blue method를 이용하였다 (Searle, 1984). 재배기간 중 배출되는 총 암모니아의 휘산량은 선행 연구를 참고하여 계산되었다 (Yang et al., 2020). 작기 중 아산화질소의 배출량은 기존 연구에서 사용되고 있는 정적 챔버법을 이용하여 평가하였다 (Choi et al., 2020; Lee et al., 2020). 가스채취는 각 처리에 3반복으로 headspace 부피 0.0047 m<sup>3</sup> (지름: 17.5 cm, 높이: 19.8 cm)의 원통형 챔버를 설치하여, 주 2회 아산화질소의 배출량이 평균값을 나타내는 오전 10 - 11시 사이에 30분간 진행하였다. 단, 재배기간 중 배출되는 아산화질소의 배출량 및 총배출량은 선행 연구의 분석 결과를 참고하였다 (An et al., 2022).

**옥수수 생산성 및 질소이용효율 조사** 옥수수 생산성은 작물 수확 후 지상부, 지하부, 알곡을 각각 분리하여 건조한 다음 무게를 측정하였으며, 알곡수량의 경우 선행연구 결과를 참고하였다 (An et al., 2022). 각 부위별로 곱게 분쇄한 다음 원소분석기 (EA2400II, PERKIN ELMER, USA)를 이용하여 질소함량을 측정하였으며, 아래 Eq. 1을 이용하여 질소이용효율을 계산하였다 (Fageria and Baligar, 2005).

$$\text{Apparent recovery efficiency (\%)} = (N_f - N_u) / N_a \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

N<sub>f</sub>: 질소비료 처리구 내 작물 질소 흡수량 (kg ha<sup>-1</sup>)

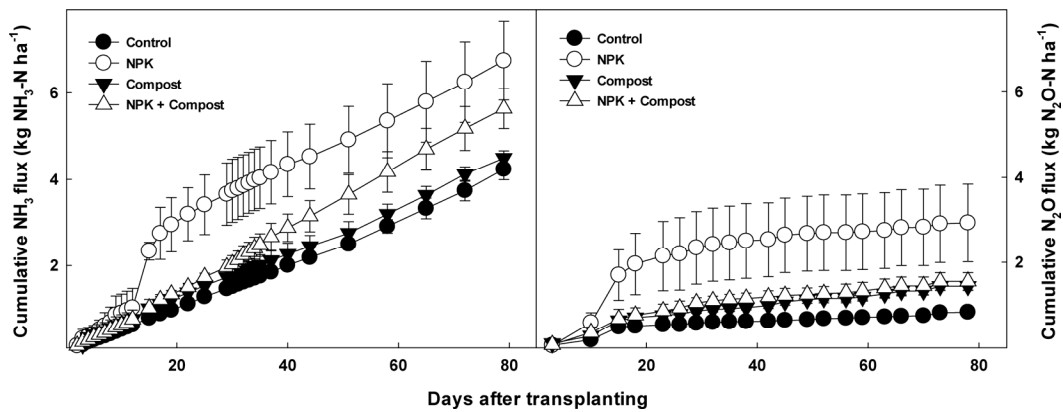
N<sub>u</sub>: 대조구 (control) 내 작물 질소 흡수량 (kg ha<sup>-1</sup>)

N<sub>a</sub>: 비료 질소 투입량 (kg ha<sup>-1</sup>)

**통계분석** 본 연구에서는 SAS package (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 사용하여 일원 분산분석을 수행하였다. 처리간 통계적 유의차가 인정된 경우 사후 분석을 수행하였으며, 이 때 least significant difference (LSD)를 이용하여 5% ( $p \leq 0.05$ ) 확률의 유의수준에서 처리 간 효과를 비교하였다.

## Results and Discussion

**암모니아 휘산량 및 아산화질소 배출량 평가** 옥수수 재배기간 동안 질소비료 처리에 따른 암모니아누적 휘산량과 아산화질소누적 배출량을 평가한 결과는 다음과 같다(Fig. 1). 질소비료 사용 이후 암모니아의 휘산량이 증가하였으며, 특히 기비 처리 후 2주가 지난 시점부터 NPK 처리에서 가장 큰 폭으로 증가하였다. 이후 정식 후 40일가량이 지난 시점부터 배출량이 크게 줄어 그 이후에는 거의 배출되지 않았다. 아산화질소 또한 암모니아와 마찬가지로 시비 처리 후 2주가 지난 시점부터 크게 증가하는 경향을 보였으며 특히 NPK 처리구에서 가장 큰 폭으로 증가했다. 옥수수 재배기간동안 질소비료 처리에 따른 암모니아의 총휘산량 및 아산화질소 총배출량을 평가한 결과는 다음과 같다(Table 1). 암모니아의 경우, Control 처리구에 비해 시비 처리하였을 때 전반적으로 휘산이 증가하였으며, 그 값은 처리구 별로 각각 4.24, 6.74, 4.50, 5.64 kg ha<sup>-1</sup>이었다. NPK에서 가장 높은 값을 보였으며, 그에 비해 동량의 질소를 처리한 NPK+Compost 처리에서는 암모니아의 휘산량이 16%가량 저감되었다. 아산화질소의 총배출량은 무처리에 비해 시비처리하였을 때 크게 증가하였으며, 특히 NPK 처리에서 가장 높은 배출을 보였다. 이때, 암모니아와 마찬가지로 동량의 질소를 처리하였음에도 불구하고 아산화질소 배출량이 NPK+Compost 처리구에서 NPK 처리구보다 47%가량 저감되었다. 본 연구에서도 선행연구와 마찬가지로 퇴비와 같은 유기비료의 혼용이 토양 내 양이온교환용량을 증진하였고 (Roba, 2018; An et al., 2022), 이로 인해 토양 내 전반적인 양분보유능이 개선되어 질소의 손실이 크게 감소할 수 있었던 것으로 판단된다.



**Fig. 1.** Accumulated gasous N fluxes including ammonia volatilization rates (left) and nitrous oxide (right) at different N fertilization regimes in maize fields during cultivation.

**Table 1.** The amount of ammonia volatilization, nitrous oxide emission and total gaseous N losses under different N fertilization regimes during whole cultivation periods.

Treatments	Total N input (kg ha <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> -N loss (kg ha <sup>-1</sup> )	N <sub>2</sub> O-N loss (kg ha <sup>-1</sup> )	Total N losses	
				(kg ha <sup>-1</sup> )	(%)
Control	-	4.24 c <sup>†</sup>	0.84 b	5.08 c	-
NPK	158	6.74 a	2.93 a	9.66 a	6.11 a
Compost	158	4.50 c	1.44 b	5.94 c	3.76 b
NPK+Compost	158	5.64 b	1.55 b	7.19 b	4.55 b

<sup>†</sup>Different letters for each row showed a significant difference at  $p \leq 0.05$  according to LSD's test.

**옥수수 생산성 및 질소 이용 효율 평가** 질소비료 처리에 따른 옥수수의 생산성은 Control 처리구에 비해 시비처리를 한 처리구에서 높았다 (Table 2). 특히 무기질 비료를 함께 처리한 NPK+Compost 처리구에서 높은 값을 보였으나 NPK 처리구와 유의한 통계 차이가 없었다. 따라서 유기질 비료의 혼용 처리는 무기질소 단용 대비 작물의 생산성을 유의하게 떨어트리지는 않는 것으로 조사되었다. 이는 유무기질 비료 혼용을 통한 토양 내 양이온치환용량, 양분보유력 및 미생물 활성 증진으로 인해 작물 생산성에 긍정적인 영향을 줄 수 있었던 것으로 판단된다 (Watts et al., 2010; Liu et al., 2021; An et al., 2022). 옥수수 생산성과 질소흡수량을 이용하여 질소 이용 효율을 조사한 결과 NPK, Compost, NPK+Compost 처리에서 각각 34.6, 10.6, 26.6%로 나타났다. NPK 처리구에서 가장 높은 효율을 보였지만, 높은 생산성을 보였던 NPK+Compost 처리구와 통계적인 차이는 나타나지 않았다. 본 연구에서 퇴비처리구의 경우 동일량의 질소가 투입되었음에도 불구하고, 질소이용효율은 무기질소 단용 및 혼용 처리구에 비해 낮게 나타났다. 이는 퇴비 자체의 느린 무기화 속도로 인해 토양 내 무기태 질소의 공급이 상대적으로 제한되었기 때문인 것으로 판단된다 (Chew et al., 2019). 혼용처리구의 경우 단용처리구에 비해 작물 내 질소함량 자체는 다소 낮았으나, 전반적인 바이오매스 생산량 증가로 인해 작물 전체의 질소흡수량이 증가하였기 때문에 두 처리 간 질소이용효율의 유의한 차이는 없었던 것으로 판단된다.

**Table 2.** Characteristics of maize productivity, N contents, N uptake, and N use efficiency under different N fertilization regimes after the harvesting.

Treatment	Control	NPK	Compost	NPK+Compost
N fertilization (kg ha <sup>-1</sup> )	-	158	158	158
Maize productivity (Mg d.w ha <sup>-1</sup> )				
Shoot	4.60 b <sup>†</sup>	6.10 a	5.60 ab	6.29 a
Root	0.68 b	1.04 a	0.96 ab	1.23 a
Grain	2.79 b	4.75 a	3.77 ab	4.81 a
Total	8.07 b	11.9 a	10.3 ab	12.3 a
N content (g kg <sup>-1</sup> )				
Shoot	10.0 ab	11.5 a	9.3 b	9.6 b
Root	4.62 b	7.07 a	4.44 b	4.97 b
Grain	14.1 a	14.8 a	13.3 a	14.0 a
Total	28.8 b	33.4 a	27.0 b	28.6 b
N uptake (kg ha <sup>-1</sup> )				
Shoot	46.4 c	69.7 a	51.9 bc	60.7 ab
Root	3.15 b	7.26 a	4.28 b	6.06 a
Grain	39.0 b	70.3 a	50.2 ab	66.8 a
Total	88.6 c	147.3 a	106.4 bc	133.5 ab
Apparent recovery efficiency (%)	-	34.6 a	10.6 b	26.6 ab

<sup>†</sup>Different letters for each row showed a significant difference at  $p \leq 0.05$  according to LSD's test.

## Conclusions

유·무기질 비료의 혼용은 암모니아 휘산 및 아산화질소 배출과 같은 가스형태의 질소 손실을 각각 16%, 47% 수준까지 저감시켰고, 생산성 또한 가장 높은 수준으로 증가시켰다. 질소이용효율의 경우 무기질 비료 단독 처리에서 가장 높았으나, 유·무기질 혼용 처리와 비교하여 유의한 차이는 나타나지 않았다. 따라서, 유·무기질 비료의 혼용은 가스형태의 질소 손실을 효과적으로 억제하여 환경오염을 효과적으로 줄일 수 있을 뿐만 아니라 작물 생산성 및 질소이용 효율을 유지할 수 있는 합리적인 시비 방안이 될 수 있을 것으로 판단한다.

## Acknowledgement

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. PJ017061012022)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

- An, H., S. Bae, Y. Lee, J. Lee, S.H. Jeon, and S.Y. Kim. 2022. Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on mitigating greenhouse gas emissions and improving maize productivity in a field condition. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 55(4):261-272.
- Chew, K.W., S.R. Chia, H.W. Yen, S. Nomanbhay, Y.C. Ho, and P.L. Show. 2019. Transformation of biomass waste into sustainable organic fertilizers. *Sustainability* 11(8):2266.
- Choi, S., J. Lee, Y. Lee, P.J. Kim, J.S. Cho, Y.H. Cheong, Y.S. Rim, and S.Y. Kim. 2020. The effects of ethephon application on suppressing methane emission and stimulating rice productivity in a rice paddy soil: A pot experiment. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53:489-501.
- Dimkpa, C.O., J. Fugice, U. Singh, and T.D. Lewis. 2020. Development of fertilizers for enhanced nitrogen use efficiency - Trends and perspectives. *Sci. Total Environ.* 731:139113.
- Fageria, N.K. and V.C. Baligar. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Adv. Agron.* 88:97-185.
- Iqbal, A., L. He, A. Khan, S. Wei, K. Akhtar, I. Ali, S. Ullah, F. Munsif, Q. Zhao, and L. Jiang. 2019. Organic manure coupled with inorganic fertilizer: An approach for the sustainable production of rice by improving soil properties and nitrogen use efficiency. *Agronomy* 9(10):651.
- Lee, J., S. Choi, Y. Lee, and S.Y. Kim. 2021. Impact of manure compost amendments on NH<sub>3</sub> volatilization in rice paddy ecosystems during cultivation. *Environ. Pollut.* 288:117726.
- Lee, Y., S. Lee, J. Lee, S. Choi, and S.Y. Kim. 2020. Impacts of different nitrogen fertilization on greenhouse gas emissions and lettuce productivity in upland soils during cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53(4):600-613.
- Liu, B., X. Wang, L. Ma, D. Chadwick, and X. Chen. 2021. Combined applications of organic and synthetic nitrogen fertilizers for improving crop yield and reducing reactive nitrogen losses from China's vegetable systems: A meta-analysis. *Environ. Pollut.* 269:116143.
- NIAST. 2019. Fertilization standard of crop plants. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Pernes-Debuyser, A. and D. Tessier. 2004. Soil physical properties affected by long-term fertilization. *Eur. J. Soil Sci.* 55(3):505-512.
- Raun, W.R. and G.V. Johnson. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agron. J.* 91(3):357-363.

- Roba, T.B. 2018. Review on: The effect of mixing organic and inorganic fertilizer on productivity and soil fertility. *Open Access Library J.* 5:e4618.
- Searle, P.L. 1984. The berthelot or indophenol reaction and its use in the analytical chemistry of nitrogen. A review. *Analyst* 109(5):549-568.
- Trogler, W.C. 1999. Physical properties and mechanisms of formation of nitrous oxide. *Coord. Chem. Rev.* 187(1): 303-327.
- Valin, H., R.D. Sands, D. van der Mensbrugghe, G.C. Nelson, H. Ahammad, E. Blanc, B. Bodirsky, S. Fujimori, T. Hasegawa, and P. Havlik. 2014. The future of food demand: Understanding differences in global economic models. *Agric. Econ.* 45(1):51-67.
- Watts, D.B., H.A. Torbert, Y. Feng, and S.A. Prior. 2010. Soil microbial community dynamics as influenced by composted dairy manure, soil properties, and landscape position. *Soil Sci.* 175:474-486.
- Xu, R., H. Tian, S. Pan, S.A. Prior, Y. Feng, W.D. Batchelor, J. Chen, and J. Yang. 2019. Global ammonia emissions from synthetic nitrogen fertilizer applications in agricultural systems: Empirical and process-based estimates and uncertainty. *Glob. Change Biol.* 25(1):314-326.
- Yang, Q., P. Liu, S. Dong, J. Zhang, and B. Zhao. 2020. Combined application of organic and inorganic fertilizers mitigates ammonia and nitrous oxide emissions in a maize field. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 117(1):13-27.