

Research Article



CrossMark

Open Access

고추 재배 밭에서 채취한 토양의 유기물 함량과 질소 무기화 량의 관계

이예진*, 이슬비, 김양민, 송요성, 이덕배

농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부 토양비료과

Relation of Organic Matter Content and Nitrogen Mineralization of Soils Collected from Pepper Cultivated Land

Yejin Lee*, Seulbi Lee, Yangmin Kim, Yosung Song and Deogbae Lee (Division of Soil & Fertilizer, National Academy of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea)

Received: 31 July 2019/ Revised: 29 August 2019/ Accepted: 10 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

Yejin Lee

<https://orcid.org/0000-0003-4415-846X>

Seulbi Lee

<https://orcid.org/0000-0001-5216-6908>

Yangmin Kim

<https://orcid.org/0000-0002-6246-5845>

Abstract

BACKGROUND: Estimation of soil nitrogen supply is essential to manage nitrogen fertilization in arable land. In Korea, nitrogen fertilization is recommended based on the soil organic matter content because it is difficult to assess nitrogen (N) mineralization of upland soils directly. In this study, the relationship between soil organic matter (SOM) content and N mineralization was investigated to explore the limitation of using SOM in predicting soil N mineralization.

METHODS AND RESULTS: Soil samples from the 0 to 10 cm depth were collected from 18 individual pepper cultivated fields in Tae-an and Chung-yang provinces before fertilization. N mineralization in the soils was quantified using incubation for 70 days at 30°C. The mineralizable soil N (MSN) was positively correlated with SOM, and the relation equation between MSN and SOM was ' $MSN(kg\ 10a^{-1}) = 0.2933 \times SOM(g\ kg^{-1}) + 0.0897$ ($r^2=0.6224$, $p<0.001$)'. However, the differences of N mineralization among the soils with the similar concentrations

of soil organic matter were about 3 to 4.6 times, suggesting that the other soil factors such as total N concentration or EC should affect N mineralization.

CONCLUSION: We concluded that SOM alone could not reflect the capacity of soil to supply N that is used for recommendation of N fertilization rate. Therefore, other soil properties should be considered to improve N fertilization management in arable land for sustainable agriculture.

Key words: Mineralization, Nitrogen, Soil Organic Matter, Upland Soil

1. 서 론

환경과 작물 생산성을 고려한 최적 질소관리를 위해서는 토양 중 남아있는 질소의 공급량을 고려하여 작물 재배에 필요한 만큼 비료를 사용하는 것이 중요하다. 토양 질소 공급량은 양분 관리방법, 작물 잔재 등에 의해 무기화 될 수 있는 유기태 질소의 양에 따라 달라지고(Curtin and Campbell, 2007), 질소 무기화는 토양의 물리화학적, 온도조건 등에 따라 달라진다(Griffin, 2007).

토양의 질소 공급량을 평가하기 위해서는 장기간의 항온 실험을 통해 토양으로부터 무기화되는 질소의 양을 구해야 하지만(Stanford and Smith, 1972), 시간과 노력이 많이 소요되기 때문에 실제 비료 추천방법으로 질소 무기화량을 적

*Corresponding author: Yejin Lee

Phone: +82-63-238-2446; Fax: +82-63-238-3822;

E-mail: leeyj418@korea.kr

용하는 것은 어렵다. 따라서 최적 질소 관리를 위해 각 지역의 토양 질소 무기화량을 측정하여 예측 모델식을 산정한 연구 결과들이 보고되어왔다(Heumann et al., 2011; Dessureault-Rompere et al., 2015). 그러나 모델 식은 항온기간에 따라 무기화 속도가 다르고, 지역의 토양특성이 반영된 것이므로 그 외의 지역에 적용하는 것은 한계가 있다.

우리나라 노지 밭토양의 질소 비료 추천은 질산태질소 함량의 변동성과 질소 무기화량 측정의 어려움 때문에 토양 유기물 함량에 따라 질소 비료 사용량을 차등하여 추천하고 있다(국립농업과학원, 2017). 유기물로부터 무기화 될 수 있는 질소의 양은 유기물의 조성분해 정도, 토양 특성에 영향을 받는다(Ros, 2012). 그러므로 우리나라 밭토양에서 유기물 함량에 따른 질소 무기화량을 평가하고, 토양의 질소 공급량을 고려한 질소 비료 추천방법으로 보완할 필요가 있다.

본 연구에서는 우리나라 주요 과채류 중 하나인 고추 재배 밭토양에서 작물 정식 전 토양을 채취하였고, 토양 유기물로부터 무기화될 수 있는 질소의 양을 평가하기 위하여 70일간 항온실험을 통해 질소 무기화량을 측정하였다.

재료 및 방법

토양은 태안, 청양의 노지 고추 재배지 18 지점에서 퇴비와 비료를 사용하기 전 3월 초에 토심 10 cm 깊이까지의 표토를 채취하였다. 채취한 토양은 풍건 후 2 mm 체로 걸러 토양 분석과 질소 무기화량 측정에 사용하였다. 토양 분석은 국립농업과학원의 토양 및 식물체분석법(2000)에 따랐다. 토성은 비중계법(Gee and Bauder, 1986)으로 분석하였고, CEC는 mechanical vacuum extractor를 이용하여 NH_4OAc (pH 7.0) 침출법으로 분석하였다. 토양 pH와 EC는 토양과 증류수를 1:5의 비율로 하여 pH, EC meter로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법, 총질소와 탄질율은 C, N analyzer (Vario MAX CNS, elemental, Germany)로 분석하였다. 유효인산은 Lancaster법, 치환성 양이온은 1M NH_4OAc (pH 7.0)으로 추출하여 유도결합플라즈마 분광광도계(Integra XL, GBC, Australia)로 분석하였다.

누적 질소 무기화량 분석 토양 질소 무기화량을 구하기 위하여 Stanford와 Smith (1972)의 무기화 측정방법에 따라 토양을 30°C에서 항온하였다. 풍건 토양 65 g을 0.45 μm filter가 장착된 150 mL bottle-top vacuum filter units (Corning, USA)의 윗부분에 넣고, 용적밀도는 1.2 g cm^{-3} , 수분함량은 포장용수량의 60%로 맞추었다. 질소 무기화량 측정을 위해 토양을 항온기에서 꺼낸 후 토양 위에 filter paper를 올린 후 0.01 M CaCl_2 용액을 피펫으로 소량씩 분할하여 총 100 mL를 주입하였고, 진공펌프를 이용하여 용탈액을 채취하였다. 용탈 후 N-free nutrient solution (0.002 M CaSO_4 , 0.002 M MgSO_4 , 0.005 M $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, 0.0025 M K_2SO_4)를 25 mL 넣고 완전히 용출시킨 후 다시 항온하였다. 용탈액의 질산태, 암모늄태 질소는 이온 자동분석기(QuAAtro, Seal analytical, USA)로 측정하였고, 용탈액의 부피와 농도

를 곱하여 질소 무기화량을 산정하였다. 항온실험은 4반복으로 수행하였으며, 누적 질소 무기화량은 7, 14, 28, 42, 56, 70일 간격으로 측정된 평균값을 합하였다. 무기화 될 수 있는 토양 질소 함량은 70일간 누적 질소 무기화량에 토양 용적밀도 1.2 g cm^{-3} 와 단위면적 10 a에서 표토로부터 토심 10 cm 깊이까지의 토양무게를 곱하여 산정하였다.

통계분석은 SAS Enterprise guide 7.13을 이용하였으며, 누적 질소 무기화량과 질소 토양 특성 간 상관관계는 Pearson correlation analysis로 구하였고, 누적 질소 무기화량과 토양 유기물의 관계식은 선형회귀 모델로 구하였다. 토양 유기물 범위별 누적 질소 무기화량 차이는 ANOVA로 분석하였다. 토양 특성에 따른 누적 질소 무기화량 추정 관계식은 Stepwise regression analysis를 이용하여 구하였다.

결과 및 고찰

토양 유기물 함량과 누적 질소 무기화량 관계

고추 재배지에서 채취한 토양 18점의 토성은 사양질부터 미사식양질까지 분포하였다. 토양 유기물 함량 범위는 5.7~54.1 g kg^{-1} 이었으며, 각 포장별로 양분관리 방법에 대한 이력은 조사된 바 없으나 사용한 유기물질의 종류와 투입량에 따라 유기물 함량 차이가 있는 것으로 추측되었다. 토양의 탄질율은 평균 10.2로 유기물 함량에 관계없이 일정한 비율을 나타냈으며, 유기물 함량이 많을수록 총 질소 함량도 많았다(Table 1).

현재 우리나라 노지 밭 토양의 질소 비료 추천 방법은 토양 유기물 범위를 기준으로 하고 있는데, 이 기준은 유기물 함량이 많을수록 질소 공급량이 많다는 것을 가정하여 설정된 것이다. 실제 토양 유기물 함량이 많을수록 질소 공급량이 많은지 확인하기 위하여 고추 재배토양의 70일간 누적 질소 무기화량을 단위면적당 표토에서 무기화될 수 있는 토양 질소 (MSN)로 환산하였다. 토양 유기물(SOM)과 MSN의 선형 회귀식을 구한 결과, ' $\text{MSN} (\text{kg } 10\text{a}^{-1}) = 0.2933 \times \text{SOM} (\text{g kg}^{-1}) + 0.0897$ ($r^2=0.6224$, $P<0.001$)'으로 토양 유기물과 토양 질소 공급량은 정의 상관관계가 있다는 기존 연구결과와 일치하였다(Fig. 1) (Haynes, 2005; Ros et al., 2011).

그러나 같은 토양 유기물 범위 내에 속하여 질소 추천량이 동일한 토양들의 누적 질소 무기화량이 얼마나 차이가 있는지 확인할 필요가 있다. 토양 유기물 함량을 10 g kg^{-1} 미만, 10~20 g kg^{-1} , 21~30 g kg^{-1} , 30 g kg^{-1} 초과로 구분했을 때 토양 유기물 범위별 평균 누적 질소 무기화량은 각각 10.5, 26.6, 83.3, 105.6 mg kg^{-1} 으로 토양 유기물 함량이 많을수록 누적 질소 무기화량도 많았다. 토양 유기물 범위에 따른 누적 질소 무기화량을 ANOVA 분석한 결과, 각 토양 유기물 범위 간 질소 무기화량 차이는 유의한 것($P<0.001$)으로 나타났다. 그러나 유기물 함량이 10~20 g kg^{-1} 범위에 속하는 토양의 누적 질소 무기화량은 12.5~58.2 mg kg^{-1} 이었고, 유기물 함량이 21~30 g kg^{-1} 범위에 속하는 토양의 누적 질소 무기화량은 37~122 mg kg^{-1} 으로 토양에 따라 약 3~4.6배 차이가 있었다(Fig. 2).

Table 1. Physical and chemical properties of experimental soils that were cultivated red pepper in open field

Number	Soil texture	Sand	Silt	Clay	CEC	pH	EC	SOM	T-N	C/N
		-----	%	-----	cmol _c kg ⁻¹	1:5	dS m ⁻¹	---- g kg ⁻¹ ----		
1	sandy loam	61	36	3	22.4	6.9	1.8	54.1	2.7	10.6
2	sandy loam	57	39	4	17.4	5.7	0.7	29.2	1.4	10.1
3	sandy loam	57	39	5	16.1	5.0	0.5	25.2	1.2	10.2
4	sandy loam	56	36	8	18.9	6.0	0.6	12.7	0.7	11.3
5	sandy loam	51	46	4	23.5	5.5	1.6	49.5	2.6	10.0
6	loam	47	44	9	27.7	5.0	2.2	27.5	1.3	10.9
7	loam	47	43	10	11.8	7.4	1.5	13.6	1.0	10.4
8	loam	46	47	7	19.7	6.2	0.8	15.6	1.1	9.8
9	loam	45	46	9	19.0	4.9	0.9	11.8	0.9	8.7
10	loam	42	39	19	13.6	4.9	0.5	5.7	0.4	10.0
11	loam	41	41	18	30.4	4.9	1.4	28.5	1.6	9.4
12	silt loam	41	50	9	23.4	5.7	0.8	37.7	1.7	10.5
13	loam	39	42	19	15.2	4.9	0.5	7.1	0.5	10.3
14	silt loam	34	54	11	29.7	6.5	1.3	20.1	1.1	10.2
15	silt clay loam	29	54	17	20.4	6.2	0.6	12.5	0.8	10.3
16	silt clay loam	25	45	30	29.5	4.4	1.4	24.0	1.2	10.1
17	silt loam	24	55	22	32.2	5.9	3.5	34.1	2.0	10.1
18	silt clay loam	8	61	32	24.1	6.0	0.4	13.5	0.9	10.4

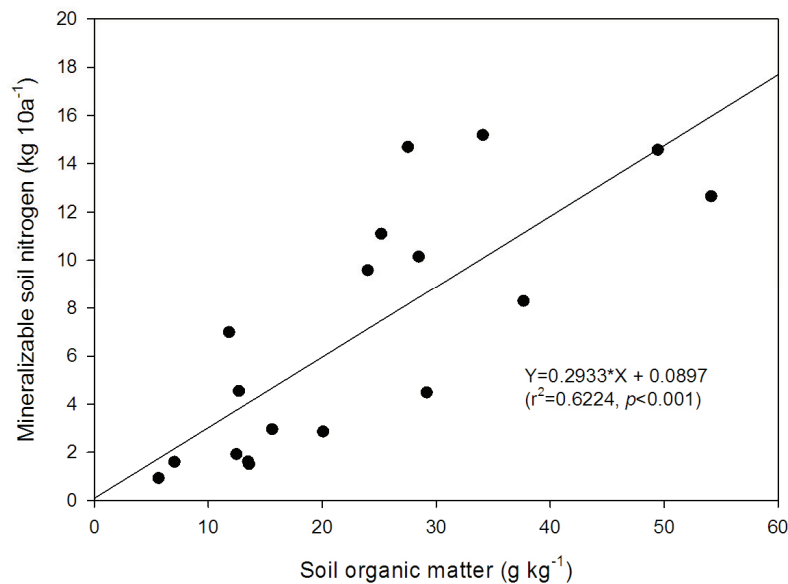


Fig. 1. Relationship between mineralizable soil nitrogen (MSN) for 70 days and soil organic matter content in red pepper field.

70일간 누적 질소 무기화량 증가 속도 또한 토양에 따라 차이가 컸다. 누적 질소 무기화량이 직선적으로 증가한 토양이 있는 반면, 항온기간 동안 누적 질소 무기화량 변화가 거의 없었던 토양도 있었다. Yun 등(2010)은 퇴비를 장기간 시용했던 밭토양에서 질소 무기화 속도를 분석한 결과, 톱밥 등

난분해성 유기물질이 많고, 탄질율이 높은 퇴비를 시용한 토양에서 질소 무기화가 더디게 나타났다고 보고하였다. 누적 질소 무기화량 변화가 크지 않았던 토양은 이미 유기태 질소가 분해되었거나, 난분해성 유기물이 사용되어 무기화가 더디게 나타났기 때문인 것으로 추측된다.

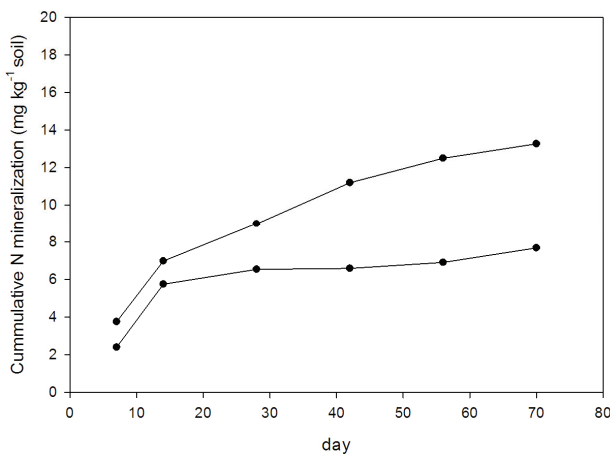
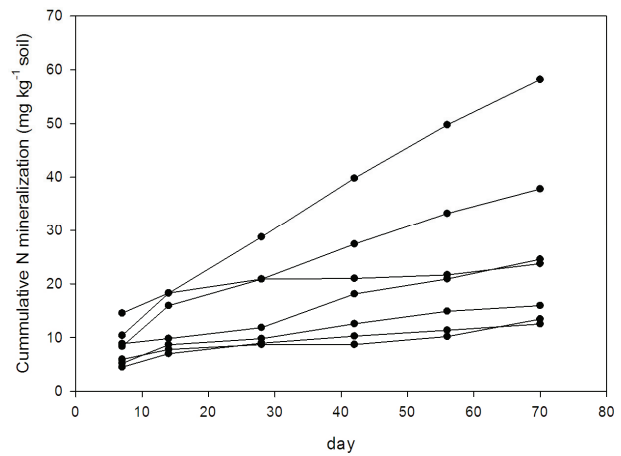
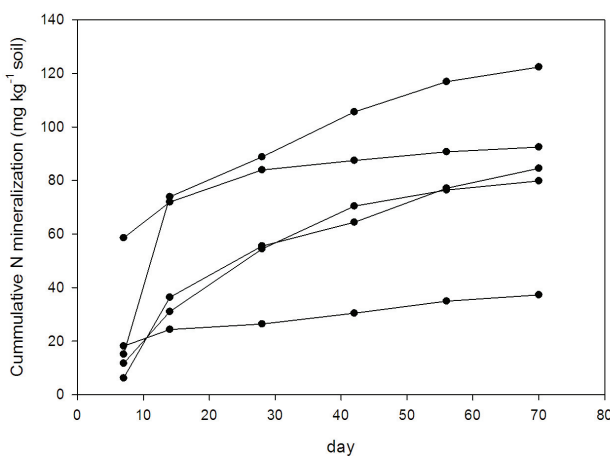
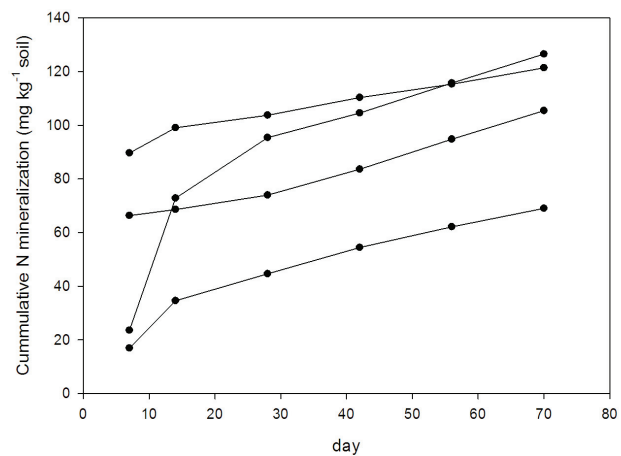
a) SOM 10 g kg⁻¹ >b) SOM 10 ~ 20 g kg⁻¹c) SOM 21 ~ 30 g kg⁻¹d) SOM 30 g kg⁻¹ <

Fig. 2. Cumulative N mineralization at 30°C for 70 days according to soil organic matter range, under 10 g kg⁻¹ (n=2), 10~20 g kg⁻¹ (n=7), 21~30 g kg⁻¹ (n=5) and above 31 g kg⁻¹ (n=4).

토양 특성에 따른 질소 공급량 예측

어떤 토양 특성이 질소 공급량에 영향을 미치는지 알아보기 위하여 MSN과 토양 특성의 상관관계를 구하였다(Table 2). 고추 재배 토양의 MSN과 상관관계가 있는 토양특성은 총질소, 유기물, EC, CEC 이었다. MSN을 추정하기 위하여 총질소, 유기물, EC, CEC 간에 다중회귀분석을 한 결과, 총질소, EC, 유기물의 다중회귀식이 가장 결정계수가 높았다(Table 3). 총질소는 무기태 질소와 유기태 질소를 포함하고 있고, 밭토양에서 EC는 남아있는 비료 성분과 관련이 있기 때문에 통계 결과에서 MSN 추정을 위한 인자로 분석된 것으로 판단된다. Appel와 Mengel (1992)은 토양 무기태 질소, 유기태 질소 측정값과 곡류의 질소 흡수량을 다중회귀분

석 했을 때 가장 유의성 있는 결과를 보였다고 했으며, Groot와 Houba (1995) 또한 토양의 질소 무기화율은 수용성 유기태 질소와 유의적인 상관이 있다고 하였다. Hong (1998)은 미국의 옥수수 재배 토양에서 연차별 잠재적으로 무기화될 수 있는 유기태 질소 함량과 토양 특성의 관계를 분석한 결과, 질산태질소와 유의한 상관관계가 있었으나 노지 토양은 외부 환경요인이 다양하게 작용하기 때문에 한 가지 요인으로 예측하는 것은 어렵다고 하였다.

토양 유기물 함량만을 기준으로 질소 비료를 추천할 경우, 토양 유기물 함량은 같지만 질소 무기화량이 적은 토양에 질소 비료를 적게 주거나, 반대로 질소 무기화량이 많은 토양에 질소 비료를 많이 주는 오류를 범할 수 있다. 따라서 환경과

Table 2. The Pearson correlation coefficients between mineralizable soil nitrogen (MSN) and soil properties

	Sand	Silt	Clay	CEC	pH	EC	SOM	T-N	C/N
MSN	0.210	-0.124	-0.231	0.566*	-0.250	0.703**	0.789**	0.791**	-0.018

* p -value < 0.05; ** p -value < 0.01.

Table 3. Multiple regression equation between mineralizable soil nitrogen (MSN) and soil properties

Equations	R ²	p-value
$MSN(kg\ ha^{-1}) = 51.657 \cdot T-N(g\ kg^{-1}) - 7.348$	0.626	<0.001
$MSN(kg\ ha^{-1}) = 18.780 \cdot EC(dS\ m^{-1}) + 37.698 \cdot T-N(g\ kg^{-1}) - 11.741$	0.701	<0.001
$MSN(kg\ ha^{-1}) = 3.801 \cdot OM(g\ kg^{-1}) + 27.470 \cdot EC(dS\ m^{-1}) - 46.954 \cdot T-N(g\ kg^{-1}) - 3.898$	0.757	<0.001

작물 생산성을 고려한 합리적인 질소 관리를 위해서는 토양의 이화학적 특성에 따른 질소 무기화율이나 유기태 질소 분석 등 토양 질소 공급량의 예측을 통해 질소 비료를 추천하는 방법으로 개선할 필요가 있다.

요 약

우리나라 노지 밭토양의 질소 비료 추천은 토양 유기물 범위에 따라 차등하여 추천한다. 토양 유기물 함량에 따른 질소 공급 가능량을 확인하기 위하여 노지 고추 재배 밭토양에서 작물 재배 전 토양을 채취하여 70일간 누적 질소 무기화량을 구하였다. 토양 유기물 함량(SOM)과 무기화 될 수 있는 토양 질소(SNM)의 관계식은 ' $MSN(kg\ 10a^{-1}) = 0.2933 \cdot SOM(g\ kg^{-1}) + 0.0897$ ($r^2=0.6224$, $P<0.001$)'이었다. 토양 유기물 범위에 따른 평균 질소 무기화량은 각각 10.5, 26.6, 83.3, 105.6 $mg\ kg^{-1}$ 으로 토양 유기물 함량이 많을수록 질소 무기화량도 많았으나, 같은 토양 유기물 범위에 속하는 토양이어도 질소 무기화량은 약 3~4.6배 차이가 있었다. 따라서 밭토양 질소 관리를 위해서는 토양 특성에 따른 질소 공급량 예측을 통해 질소 비료를 추천하는 것이 중요하다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ012837012019)", National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

Appel, T., & Mengel, K. (1992). Nitrogen uptake of cereals grown on sandy soils as related to nitrogen fertilizer application and soil nitrogen fractions obtained by electro-ultrafiltration (EUF) and $CaCl_2$ extraction. *European Journal of Agronomy*, 1(1), 1-9.

Curtin, D., & Campbell, C. A. (2007). Mineralizable nitrogen. *Soil sampling and methods of analysis* (eds.

Gregorich, E. G., Carter, M. R.), pp. 599-606, CRC press, Boca Raton, FL, USA.

Dessureault-Rompré, J., Zebbarth, B. J., Burton, D. L., & Georgallas, A. (2015). Predicting soil nitrogen supply from soil properties. *Canadian Journal of Soil Science*, 95(1), 63-75.

Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle size analysis. In: *Methods of soil analysis, part1*. (ed. Klute, A.), Monograph No.9, pp. 383-411, American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA.

Griffin, T. S. (2007). Nitrogen availability. *Nitrogen in agricultural systems* (eds. Schepers, J and Raun, W.R.), pp. 513-646, Agronomy monograph. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, USA.

Groot, J. J. R., & Houba, V. J. G. (1995). A comparison of different indices for nitrogen mineralization. *Biology and Fertility of Soils*, 19(1), 1-9.

Haynes, R. J. (2005). Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. *Advances in Agronomy*, 85, 221-268.

Heumann, S., Ringe, H., & Böttcher, J. (2011). Field-specific simulations of net N mineralization based on digitally available soil and weather data. I. Temperature and soil water dependency of the rate coefficients. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 91(3), 219-234.

Hong, S. D. (1998). N-supplying Capability Evaluation of Corn Field Soils in Pennsylvania. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 31(4), 359-367.

Ros, G. H. (2012). Predicting soil N mineralization using organic matter fractions and soil properties: A re-analysis of literature data. *Soil Biology and Biochemistry*, 45, 132-135.

Ros, G. H., Temminghoff, E. J. M., & Hoffland, E. (2011). Nitrogen mineralization: a review and meta-analysis of the predictive value of soil tests. *European Journal of Soil Science*, 62(1), 162-173.

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

Yun, H. B., Lee, Y., Yu, C. Y., Yang, J. E., Lee, S. M., Shin, J. H., Kim, S. C., & Lee, Y. B. (2010). Soil nitrogen mineralization influenced by continuous application of livestock manure composts. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 43(3), 329-334.