Korean Journal of Environmental Agriculture

Korean J Environ Agric. 2017;36(4):223-229. Korean
Published online 2017 December 22. https://doi.org/10.5338/KJEA.2017.36.4.42

Online ISSN: 2233-4173
Print ISSN: 1225-3537

Research Article

Open Access

경운방법과 시비방법이 콩 재배 토양의 생물학적 활성에 미치는 영향

오은지[1], 박지수[1], 유 진[1], 김숙진[2], 우선희[3], 정근욱[1*]

[1]충북대학교 농업생명환경대학 환경생명화학과, [2]농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 재배환경과,
[3]충북대학교 농업생명환경대학 식물자원학과

Effect of Tillage System and Fertilization Method on Biological Activities in Soil under Soybean Cultivation

Eun-Ji Oh[1], Ji-Su Park[1], Jin Yoo[1], Suk-Jin Kim[2], Sun-Hee Woo[3] and Keun-Yook Chung[1*] ([1]Department of Environmental & Biological Chemistry, College of Agriculture, Life and Environment Sciences, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea, [2]Crop Cultivation and Environment Research Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16616, Korea, [3]Department of Crop Science, College of Agriculture, Life and Environment Sciences, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea)

Received: 4 December 2017/ Revised: 13 December 2017/ Accepted: 20 December 2017

ORCID
Eun-Ji Oh
http://orcid.org/0000-0002-9016-7773

Keun-Yook Chung
http://orcid.org/0000-0002-2725-7733

Abstract

BACKGROUND: Tillage systems and fertilization play an important role in crop growth and soil improvement. This study was conducted to determine the effects of tillage and fertilization on the microbial biomass C and dehydrogenase activity of soils in a field under cultivation of soybean.
METHODS AND RESULTS: An experimental plot, located in the temperate climate zone, was composed of two main sectors that were no-tillage (NT) and conventional tillage (CT), and they were subdivided into four plots, respectively, in accordance with types of fertilizers (non fertilizer, chemical fertilizer, hairy vetch, and liquid pig manure). Microbial biomass C and dehydrogenase activity were evaluated from May to July in 2016. The microbial biomass C and dehydrogenase activity of NT soils were significantly higher than those of CT in all fertilizer treatments, and they were further increased in hairy vetch treatment than the other fertilizer treatments in both NT and CT. The dehydrogenase activity was closely related to microbial biomass C.
CONCLUSION: It is concluded that application of green manure combined with no-tillage can provide viable management practices for enhancing microbial properties of soil.

Key words: Dehydrogenase, Hairy vetch, Microbial biomass carbon, No-tillage, Soybean

*Corresponding author: Keun-Yook Chung
Phone: +82-43-261-3383; Fax: +82-43-271-5921;
E-mail: kychung@cbnu.ac.kr

서 론

토양의 건전성은 생물학적인 생산성과 환경의 질을 유지하고 식물과 동물의 건강을 향상시키기 위하여 토양 생태계를 효율적으로 작동시킬 수 있는 용량으로서 정의 될 수 있다(Doran and Parkin, 1994). 장기적으로 토양 생태계의 지속성을 향상시키고 효과적인 토양관리를 위하여 신속하고 민감한 토양 건전성에 대한 지표 개발이 필요하다. 토양형성에 영향을 주는 인자들을 고려하지 않고 토양 건전성을 적절하게 반영할 수 있는 단일의 생물학적 혹은 화학적인 측정 지표를 설정하는 것은 매우 어려우며 환경변화에 반응하고 설명이 가능한 지표를 사용해야 한다.

미생물에 의한 토양 건전성 유지는 토양 환경보전에 매우 중요한 요인이며 미생물상, 미생물 생체량, 군집구조, 효소 활성 등이 토양 비옥도와 관련되어있다(Suh, 1998; Noh and Kwon, 2009). 미생물 생체량과 토양 효소 활성은 토양 생물

학과 그들의 관계, 측정의 용이성 및 토양관리와 환경적인 인자에 의하여 유래된 일시적인 토양변화에 대한 높은 민감성 때문에 잠재적인 토양 건전성의 생물학적 지표이다(Marx *et al.*, 2001; De la Paz Jimenez *et al.*, 2002). 미생물 생체량은 토양 온도, 유기물 함량, 경운, 시비 및 제초에 의해 급변할 수 있으며(Ocio *et al.*, 1991; Wyland *et al.*, 1995; Wyland *et al.*, 1996), 유기물 분해와 질소 무기화 작용을 통해 작물 생산성에 큰 영향을 미친다(Coleman *et al.*, 1983; McGill *et al.*, 1986). 따라서 토양의 생물학적 특성은 유기물 순환과 변환과정에 대한 서로 다른 작부체계의 효과를 평가하기 위한 귀중한 도구로 사용된다.

무경운 재배는 표층 토양에서 유기물의 양을 증가시키기 때문에 토양 중 미생물 생체량과 효소 활성은 경운 토양보다 무경운 표층 토양에서 증가한다(Mullen *et al.*, 1998; Bolinder *et al.*, 1999). 현재 농업 종사자의 인구는 점차 감소하고 있는 추세이며 평균 연령은 꾸준히 증가하고 있다. 농업 종사자의 고령화 심화는 농업생산인력의 질적 저하로 이어져 농업 생산성이 저하되고 농업경쟁력을 크게 약화시킬 것으로 사료된다. 이러한 추세에 따라서 국내외 농업분야에서는 작물 재배 시 발생되는 노동력을 절감시키고 친환경적이며 경제적인 효과를 가져올 수 있는 무경운 재배에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다(Doran, 1987; Haynes and Knight, 1989; Hong *et al.*, 2003; Lee, 2010; Yoo, 2015).

국내에서는 경운 유무와 비료에 따른 토양의 생물학적 활성과 변화에 관한 연구는 부족한 실정이다. 그러므로 본 연구는 밭 토양에서 콩 재배 시 경운의 유무와 비료의 종류가 토양 미생물 생체량 C와 탈수소효소 활성에 미치는 영향을 구명하여 환경농업기술에 필요한 토양관리 및 시비 기준설정의 기초자료로 사용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

공시재료, 처리 내용 및 시료 채취

본 연구는 밭 토양에서 콩 재배 시 경운방법과 비료의 종류에 따른 토양의 생물학적 활성을 조사하기 위하여 충북대학교 부속농장 (36 62′ N, 127 45′ E, 69.31 m)에서 2016년 5월부터 7월까지 3개월 동안 진행되었다.

시험 토양의 특성은 모래 78.6%, 미사 17.4%, 점토 4%로 이루어진 양질 사토(loamy sand) 이다. 연구 수행 기간 동안의 월 평균 기온은 19.8℃ (5월), 23.6℃ (6월), 26.2℃ (7월)였으며 월 평균 강수량은 84.4 mm (5월), 39.9 mm (6월), 320 mm (7월)였다. 공시 품종은 대원콩(*Glycine max* (L.) Merrill)을 사용하였다. 경운 여부에 따른 토양의 생물학적 활성 비교를 위해 시험 토양 전체 면적을 절반 (496 m^2)으로 나누어 경운 처리구와 무경운 처리구를 두었다. 다음으로, 공급하는 비료의 종류가 토양의 생물학적 활성에 미치는 영향을 평가하기 위해 무경운 및 경운 처리구를 각각 비료를 공급하지 않는 무처리구, 화학비료 처리구, 헤어리베치 처리구 및 돈분액비 처리구의 4 처리구로 설정하여 최종적으로 8개의 처리구를 두었다. 파종은 5월 30일에 시행되었으며 재식 거리는 70×20 cm로 하였다. 시비량은 질소-인산-가리를 각각 3-3-3.4 kg/10a로 하였으며, 농촌진흥청 작물 별 시비처방 기준의 표준시비량에 준하여 5월 23일에 시비하였다. 가축분뇨는 유기질 비료인 액체 돈분퇴비를 이용하였으며 이천양돈영농조합에서 공급받아 사용하였다. 시험에 사용된 돈분액비의 화학적 조성은 Table 1과 같았다. 헤어리베치(*Vicia villosa*)는 6 kg/10 a 수준으로 산파하였고, 콩 파종 전 예취하여 토양에 풋거름으로 시용하였다. 시험 전 토양의 화학적 특성은 Table 2와 같았다. 토양시료는 표토의 부산물을 걷어낸 후 15 cm 깊이로 각 처리구당 3반복으로 채취하였다.

Table 1. Chemical properties of liquid pig manure used in experiment

NH_3	T-N	P_2O_5	K_2O
mg/kg	---------- % ----------		
2.7	0.027	0.021	0.052

미생물 생체량 C 측정

토양 미생물 생체량 C는 chloroform extraction 방법에 따라 측정하였다(Vance *et al.*, 1987). 2 mm 체를 통과한 토양시료를 클로로폼으로 24시간 동안 암실에서 훈증한 후, 감압과 회복을 반복하면서 클로로폼을 제거하고, 0.5 M K_2SO_4 40 mL로 추출 여과하여 미생물 생체량 C 측정에 사용하였다. 추출 시료액 8 mL을 250 mL 둥근바닥 플라스크에 취한 후, 66.7 mM $K_2Cr_2O_7$ 2 mL와 황산과 인산 혼합액 (2:1) 15 mL를 첨가하여 환류 가열 후 diphenylamine 1 g을 진한 황산에 녹인 지시약 0.5 mL를 첨가하여 ferrous ammonium sulphate로 적정하였다.

탈수소효소 활성 측정

탈수소효소의 활성을 측정하기 위해 토양 시료 5 g에 $CaCO_3$ 50 mg와 3% (w/v) 2,3,5-triphenyltetrazolium chloride (TTC) 1 mL을 넣고 37℃에서 24시간 배양하였다. 배양 후 형성된 2,3,5-triphenylformazan (TPF)을 메탄올로 추출하여 spectrophotometer (Model UV Mini 1240, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 485 nm에서 비색정량 하였다(Sukul, 2006).

Table 2. Chemical properties of soil before experiment

pH (1:5 H_2O)	EC	Organic matter	Avail. P_2O_5	NH_4-N	NO_3-N	Exch. cation			CEC
						K	Ca	Mg	
	dS/m	g/kg	------ mg/kg ------			---- cmol(+)/kg ----			
6.3	0.2	4	44	6.5	12.4	0.1	3.0	0.6	7.8

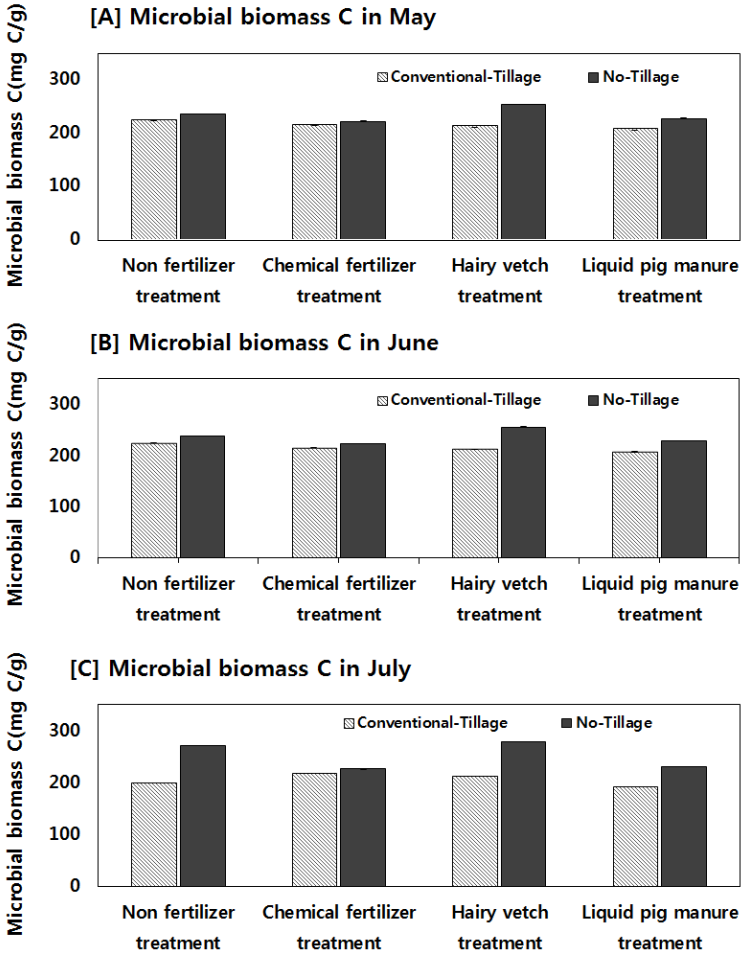

Fig. 1. Effect of tillage systems and fertilization methods on microbial biomass C in soils planted with soybean. Soil samples before the tillage and fertilizer treatment were collected in May. Soil samples of June and July were collected after sowing and in the vegetation period, respectively. Vertical bars represent SE (n=3).

통계분석

실험 결과의 통계분석은 SAS package (statistical analysis system, version 9.1, SAS Institute Inc.)를 이용하였다. 경운방법과 비료의 종류에 따른 토양의 생물학적 활성을 비교하기 위해 ANOVA 분석과 LSD test를 실시하였으며 신뢰구간은 95% 수준으로 설정하였다. 미생물 생체량 C와 탈수소효소 활성의 상관관계를 분석하기 위해 선형회귀분석을 실시하였고 유의수준 5%에서 통계분석 하였다. 모든 실험은 3반복 실시되었다.

결과 및 고찰

경운방법과 비료의 종류에 따른 토양 미생물 생체량 C의 변화

밭 토양에서 콩 재배 시 경운과 비료 처리 별 토양 미생물 생체량 C의 변화는 Fig. 1과 같다. 경운 처리별 미생물 생체량 C는 경운 재배 토양보다 무경운 토양에서 약 18.91% 증가한 것으로 나타났다. 5월(파종/경운/시비 전)의 미생물 생체량 C는 무경운 헤어리베치 처리구에서 254.84 mg C g^{-1}로 가장 높게 나타났으며, 경운 돈분액비 처리구에서 가장 낮게 나타났다 (p=0.05). 6월(파종/경운/시비 후)과 7월 영양생장기의 토양 중 미생물 생체량 C도 5월과 같은 경향을 보였다. 이러한 결과는 밀 재배 시 무경운 재배법을 이용하였을 때 경운에 비해 토양 미생물 생체량이 증가하였다는 이전 연구결과와 일치하였다(Alvear *et al.*, 2005; Mohammadi, 2011). 미생물 생체량은 유기물 분해의 초기지표로 사용되며, 경운, 건습 및 유기물 시용 등이 미생물 생체량에 영향을 주는 중요한 요인으로 알려져 있다(Ocio *et al.*, 1991; Wyland *et al.*, 1995; Wyland *et al.*, 1996). Okur *et al.* (2009)의 연구결과에 따르면, 경운에 의한 토양 교란이 미생물 생체량 C에 영향을 미치며, 무기이온에 의한 효소 합성 저하를 초래한다고 하였다.

한편 비료에 의한 미생물 생체량 C의 변화는 다른 비료 처리구보다 헤어리베치 처리구에서 7.0~29.3 mg C g^{-1} 증가한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 토양 내 미생물 생체량은

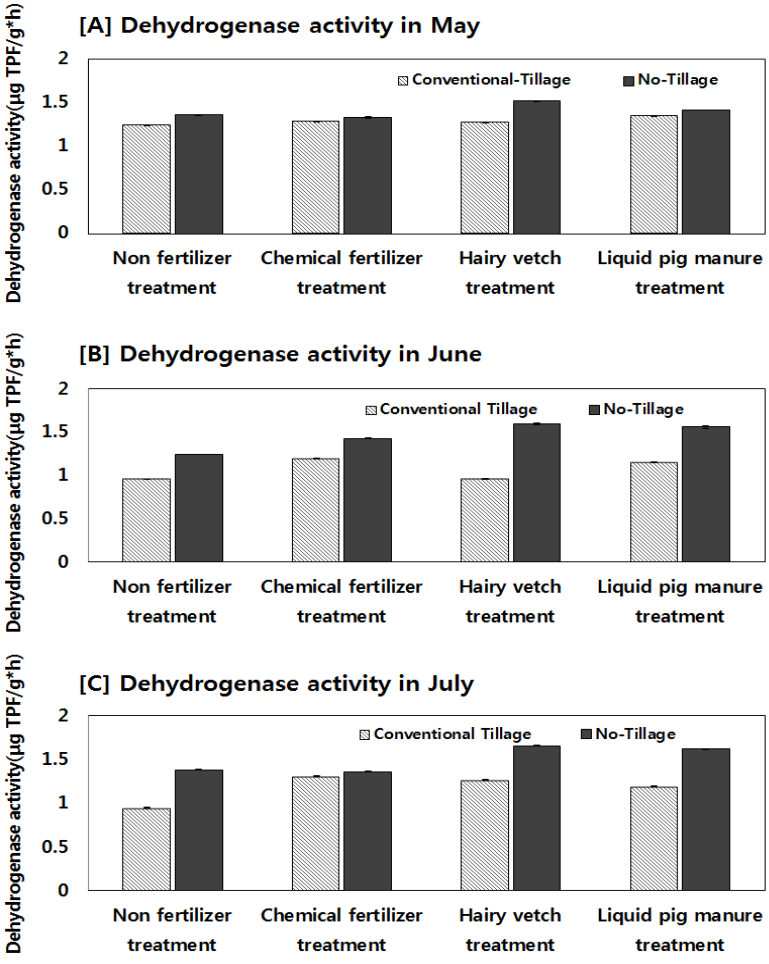

Fig. 2. Effect of tillage systems and fertilization methods on dehydrogenase activities in soils planted with soybean. Soil samples before the tillage and fertilizer treatment were collected in May. Soil samples of June and July were collected after sowing and in the vegetation period, respectively. Vertical bars represent SE (n=3).

가용성 질소의 주요 공급원이며 유기질 비료를 시용함에 따라서 토양 미생물 생체량이 증가하고 토양 내 가용성 질소가 축적된다는 기존의 연구결과에 부합하였다(Sakamoto, 1993). 풋거름작물의 토양처리는 토양의 유기물 농도 및 비옥도를 증가시키며 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성에 영향을 미친다(Campbell *et al.*, 1991; Robinson *et al.*, 1996). 토양 미생물 생체량은 토양 총 탄소의 1~3%로 구성되어 있으며 이는 토양 내에서 미생물에 의해 전환되는 물질로 작물이 쉽게 이용할 수 있는 탄소이다(Jenkinson and Ladd, 1981).

경운방법과 비료의 종류에 따른 탈수소효소 활성의 변화

밭 토양에서 콩 재배 시 경운과 비료 처리에 따른 토양 내 탈수소효소 활성의 변화는 Fig. 2와 같다. 경운 처리 별 탈수소효소의 활성은 경운 토양에 비해 무경운 토양에서 약 24% 증가한 것으로 나타났다. 5월(파종/경운/시비 전)의 토양 내 탈수소효소의 활성은 통계적으로 유의성을 보였으나, 헤어리베치 처리구를 제외한 나머지 비료 처리구에서는 무경운 토양과 경운 토양 간의 차이가 미비하였다. 6월(파종/경운/시비 후)과 7월 영양생장기의 탈수소효소의 활성을 5% 유의수준에서 평가해본 결과, 모든 비료 처리구에서 무경운 토양이 경운토양에 비해 높은 효소 활성을 보였다. 또한, 5월과 6월의 탈수소효소 활성을 비교해 본 결과는 다음과 같았다. 경운 처리구에서는 6월의 효소 활성도가 5월에 비해 감소하였고, 무경운 처리구에서는 6월의 효소 활성도가 무처리구를 제외한 모든 처리구에서 5월에 비해 증가하였다. 토양 효소는 토양 중 유기물의 무기화에 관여하며 식물의 양분 공급에 있어 중요하다. 또한, 토양 효소활성은 기후, 재배, 토양 특성 및 토양 개량의 효과를 반영하기 때문에 토양의 질을 평가하는 지표로 사용되어왔다(Skujins, 1978; Ceccanti *et al.*, 1993). 본 연구에서 6월 경운 재배 토양의 탈수소효소의 활성도가 5월에 비해 감소한 것은 5월 23일에 행한 경운 때문으로 사료된다. 이러한 결과는 경운 시 표층 토양의 효소활성이 감소하였다는 이전의 연구결과와 일치하였다(Doran, 1980; Mangalassery *et al.*, 2015).

한편 비료 처리별 탈수소효소의 활성은 다른 비료 처리구보다 헤어리베치 처리구에서 0.06~0.19 μg TPF/g^{-1} h^{-1} 증

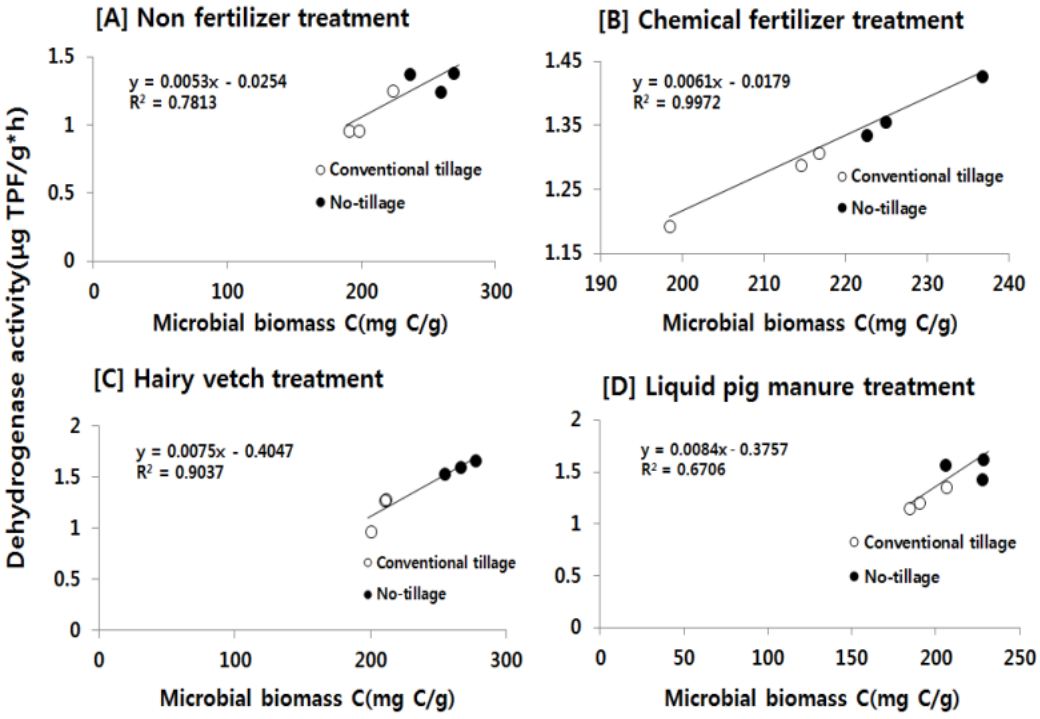

Fig. 3. Correlation between dehydrogenase activities and microbial biomass C in soils of no-tillage and conventional tillage. Soybean was cultivated under four different fertilizer treatments. The linear regression equation and R^2 value are given in each plot.

가한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 풋거름작물의 토양 처리 시 토양 효소의 활성이 증가하였다는 이전의 연구결과와 일치하였다(Mullen *et al.*, 1998). 일반적으로 토양에 유기물이 투입되면 토양 물리화학성과 미생물 활성에 영향을 주어 토양 미생물에 의한 순환이 이루어지며 유기물이 분해되는 과정에서 탈수소효소 활성은 증가하게 된다.

토양 미생물 생체량 C와 탈수소효소 활성의 관계

밭 토양에서 콩 재배 시 경운과 비료 처리별 토양 미생물 생체량 C와 탈수소효소 활성의 관계는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 모든 비료 처리구에서 정의 상관관계를 나타냈다. 무처리구에서 미생물 생체량 C와 탈수소효소 활성의 결정계수(R^2)는 0.781 (p<0.05)이고 유의 확률은 0.0194로 유의한 상관관계를 보였다. 화학비료 처리구에서의 미생물 생체량 C와 탈수소효소 활성의 결정계수는 0.997 (p<0.01)이고 유의 확률은 <0.0001로 고도로 유의한 상관관계를 보였다. 헤어리베치 처리구에서의 미생물 생체량 C와 탈수소효소 활성의 결정계수는 0.904 (p<0.01)이고 유의 확률은 0.0036로 고도로 유의한 상관관계를 보였다. 돈분액비 처리구에서의 미생물 생체량 C와 탈수소효소 활성의 결정계수는 0.67 (p<0.05)이고 유의 확률은 0.0462로 유의한 정의 상관관계를 보였다. 이는 밭 토양에서 옥수수 재배 시 탈수소효소의 활성이 토양 유기물 함량에 의존적이며 미생물 생체량과 긴밀한 관계를 가진다는 이전 연구결과와 일치한다(Suh *et al.*, 2010).

본 연구결과에 따르면, 경운에 의한 토양 교란은 미생물 생체량 C와 탈수소효소의 활성을 저하시켰으며 탄질율(carbon-nitrogen ratio)이 낮은 풋거름작물인 헤어리베치의 토양처리는 토양 내 유기물을 공급함으로써 미생물 생체량 C와 탈수소효소의 활성 증대로 토양의 생물학적 활성을 촉진시켰다. 이러한 결과는 부식 함량의 증가와 토양 내 양이온치환용량의 향상 및 토양의 산성화를 방지시키는 역할을 하여 작물의 생육을 이롭게 할 것으로 사료된다. 그러므로 무경운 토양에 헤어리베치의 시용은 친환경 유기농업을 실천하는데 유리할 것으로 판단된다.

Notes

The author declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This study was conducted with the support of the Research Cooperating Program for Agricultural Science and Technology Development (Project No. PJ010055), Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

Alvear, M., Rosas, A., Rouanet, J. L., & Borie, F. (2005). Effects of three soil tillage systems on some biological activities in an Ultisol from southern Chile. Soil and

Tillage Research, 82(2), 195-202.

Bolinder, M. A., Angers, D. A., Gregorich, E. G., & Carter, M. R. (1999). The response of soil quality indicators to conservation management. Canadian Journal of Soil Science, 79(1), 37-45.

Campbell, C. A., Biederbeck, V. O., Zentner, R. P., & Lafond, G. P. (1991). Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin Black Chernozem. Canadian Journal of Soil Science, 71(3), 363-376.

Ceccanti, B., Pezzarossa, B., Gallardo-Lancho, F. J., & Masciandaro, G. (1993). Biotests as markers of soil utilization and fertility. Geomicrobiology Journal, 11(3-4), 309-316.

Coleman, D. C., Reid, C. P. P., & Cole, C. V. (1983). Biological strategies of nutrient cycling in soil systems. Advances in Ecological Research, 13, 1-55.

De la Paz Jimenez, M., de la Horra, A., Pruzzo, L., & Palma, M. R. (2002). Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters. Biology and Fertility of Soils, 35(4), 302-306.

Doran, J. W. (1980). Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. Soil Science Society of America Journal, 44(4), 765-771.

Doran, J. W. (1987). Microbial biomass and mineralizable nitrogen distributions in no-tillage and plowed soils. Biology and Fertility of Soils, 5(1), 68-75.

Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. Defining soil quality for a sustainable environment (eds. Doran, J. W. *et al.*), pp. 1-21. SSSA Special Publication No. 35, Soil Science Society of America Inc., Madison, Wisconsin.

Haynes, R. J., & Knight, T. L. (1989). Comparison of soil chemical properties, enzyme activities, levels of biomass N and aggregate stability in the soil profile under conventional and no-tillage in Canterbury, New Zealand. Soil and Tillage Research, 14(3), 197-208.

Hong, K. P., Kim, Y. G., Joung, W. K., Shon, G. M., Song, G. W., Choi, Y. J., & Choe, Z. R. (2003). Changes in physicaochemical properties of soil, yield, and milling quality of rice grown under the long-term no-till rice system. Korean Journal of Crop Science, 48, 196-199.

Jenkinson, D. S., & Ladd, J. N. (1981). Microbial biomass in soil: measurement and turnover. Soil Biochemistry (eds. Paul, E. A., and Ladd, J. N.), pp. 415–471. Marcel Dekker, New York, USA.

Lee, Y. H. (2010). Rice growth and grain quality in no-till and organic farming paddy field as affected by different rice cultivars. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 43(2), 209-216.

Mangalassery, S., Mooney, S. J., Sparkes, D. L., Fraser, W. T., & Sjögersten, S. (2015). Impacts of zero tillage on soil enzyme activities, microbial characteristics and organic matter functional chemistry in temperate soils. European Journal of Soil Biology, 68, 9-17.

Marx, M. C., Wood, M., & Jarvis, S. C. (2001). A microplate fluorimetric assay for the study of enzyme diversity in soils. Soil Biology and Biochemistry, 33(12), 1633-1640.

McGill, W. B., Cannon, K. R., Robertson, J. A., & Cook, F. D. (1986). Dynamics of soil microbial biomass and water-soluble organic C in Breton L after 50 years of cropping to two rotations. Canadian Journal of Soil Science, 66(1), 1-19.

Mohammadi, K. (2011). Soil microbial activity and biomass as influenced by tillage and fertilization in wheat production. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 10(3), 330-337.

Mullen, M. D., Melhorn, C. G., Tyler, D. D., & Duck, B. N. (1998). Biological and biochemical soil properties in no-till corn with different cover crops. Journal of Soil and Water Conservation, 53(3), 219-224.

Noh, H. J., & Kwon, J. S. (2009). Impact of amendments on microbial biomass, enzyme activity and bacterial diversity of soils in long-term rice field experiment. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 42(4), 257-265.

Ocio, J. A., Brookes, P. C., & Jenkinson, D. S. (1991). Field incorporation of straw and its effects on soil microbial biomass and soil inorganic N. Soil Biology and Biochemistry, 23(2), 171-176.

Okur, N., Altind l, A., Çengel, M., Göçmez, S., & KAYIKÇIO LU, H. H. (2009). Microbial biomass and enzyme activity in vineyard soils under organic and conventional farming systems. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 33(4), 413-423.

Robinson, C. A., Cruse, R. M., & Ghaffarzadeh, M. (1996). Cropping system and nitrogen effects on Mollisol organic carbon. Soil Science Society of America Journal, 60(1), 264-269.

Sakamoto, K. (1993). Relationship between available N and soil biomass in upland field soils. Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 64, 42-48.

Skujins, J. (1978). History of abiotic soil enzyme research. Soil enzymes (ed. Burns, R. G.), pp. 1-49. Academic Press, New York, USA.

Suh, J. S., Kwon, J. S., & Noh, H. J. (2010). Effect of the

long-term application of organic matters on microbial diversity in upland soils. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 43(6), 987-994.

Suh, J. S. (1998). Soil microbiology. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 31(S), 76-89.

Sukul, P. (2006). Enzymatic activities and microbial biomass in soil as influenced by metalaxyl residues. Soil Biology and Biochemistry, 38(2), 320-326.

Vance, E. D., Brookes, P. C., & Jenkinson, D. S. (1987). Microbial biomass measurements in forest soils: the use of the chloroform fumigation-incubation method in strongly acid soils. Soil Biology and Biochemistry, 19(6), 697-702.

Wyland, L. J., Jackson, L. E., & Schulbach, K. F. (1995). Soil-plant nitrogen dynamics following incorporation of a mature rye cover crop in a lettuce production system. The Journal of Agricultural Science, 124(1), 17-25.

Wyland, L. J., Jackson, L. E., Chaney, W. E., Klonsky, K., Koike, S. T., & Kimple, B. (1996). Winter cover crops in a vegetable cropping system: Impacts on nitrate leaching, soil water, crop yield, pests and management costs. Agriculture, Ecosystems & Environment, 59(1-2), 1-17.

Yoo, G. H., Kim, D. H., Yoo, J., Yang, J. H., Kim, S. W., Park, K. D., Kim, M. T., Woo, S. H., & Chung, K. Y. (2015). Measurement of nitrous oxide emissions on the cultivation of soybean by no-tillage and conventional-tillage in upland soil. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 48(6), 610-617.