Korean Journal of Environmental Agriculture

Korean J Environ Agric. 2018;37(1):15-20. Korean
Published online 2018 March 14. https://doi.org/10.5338/KJEA.2018.37.1.01

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

Research Article

Open Access

온도상승 환경 처리가 논토양과 용수에서 탄소량 변화와 벼 생육에 미치는 영향

홍성창*, 허승오, 최순군, 최동호, 장은숙

농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부 기후변화생태과

Elevated Temperature Treatment Induced Rice Growth and Changes of Carbon Content in Paddy Water and Soil

Sung-Chang Hong*, Seung-Oh Hur, Soon-Kun Choi, Dong-Ho Choi and Eun-Suk Jang (Climate Change & Agroecology Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea)

Received: 2 January 2018 / Revised: 6 February 2018 / Accepted: 7 March 2018

ORCID

Sung-Chang Hong

http://orcid.org/0000-0002-9042-1284

Abstract

BACKGROUND: The global mean surface temperature change for the period of 2016～2035 relative to 1986~2005 is similar for the four representative concentration pathway (RCP)'s and will likely be in the range of 0.3℃ to 0.7℃. Climate change inducing higher temperature could affect not only crop growth and yield, but also dynamics of carbon in paddy field.

METHODS AND RESULTS: This study was conducted to evaluate the effect of elevated temperature on the carbon dynamics in paddy soil and rice growth. In order to control the elevated temperatures, the experiments were set up as the small scale rectangular open top chambers (OTCs) of 1 m (width)×1 m (depth)×1 m (height) (Type 1), 1 m (W)×1 m (D)×1.2 m (H) (Type 2), and 1 m (W)×1 m (D)×1.4 m (H) (Type 3). The average temperatures of Type 1, Type 2, and Type 3 from July 15 to October 30 were higher than the ambient temperatures at 0.4℃, 0.5℃, and 0.9℃, respectively. For the experiment, Wagner's pots (1/2,000 area) were placed inside chambers. The pots were filled with loamy soil, and chemical fertilizer and organic compost were applied as recommended after soil test. The pots were flooded with agricultural water and rice (Shindongjin-byeo) was planted. It was observed that TOC (total organic carbon) of the water increased by the elevated temperatures and the trend continued until the late growth stage of the rice. Soil TOC contents were reduced by the elevated temperatures. C/N ratios of the rice plant decreased by the elevated temperature treatments. Thus, it was assumed that the elevated temperatures induced to decompose soil organic matter. Elevated temperatures significantly increased the culm length ($P<0.01$) and culm weight ($P<0.05$) of rice, but the number and weight of rice panicle did not showed significant differences.

CONCLUSION: Based on the results, it was suggested that the elevated temperatures had an effect on changes of soil and water carbons under the possible future climate change environment.

Key words: Climate change, Elevated temperature, Open-top chamber, Rice, TOC

서 론

1986년부터 2005년과 비교하여 2016년부터 2035년에 나타날 평균 지표 온도 변화는 4 가지 RCP (대표농도경로) 시나리오에서 비슷하게 나타나며, 0.3℃에서 0.7℃의 범위가 될 가능성이 높다. 1850년부터 1900년 대비, 2081년 부터

*Corresponding author: Sung-Chang Hong
Phone: +82-63-238-2501; Fax: +82-63-238-3825;
E-mail: schongcb@korea.kr

2100년의 지표 온도변화는 RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5에서 1.5℃를 초과할 가능성이 높을 것으로 전망된다(IPCC. 2014). 온도는 식물의 생육과 수량을 조절하는 가장 중요한 환경요인 중 하나로써 모든 생물학적 과정은 온도에 따라 반응속도가 달라지는데, 이 반응은 최저, 최고, 최적반응으로 구분될 수 있다(Cross and Zuber, 1972; Yan and Hunt, 1999).

일시적인 하천수의 TOC (Total Organic Carbon) 함량 변화는 일반적으로 유출수, 토양 습윤도, 온도에 의해 영향을 받는다(Urban *et al.*, 1989; Hope *et al.*, 1994; Hinton *et al.*, 1997; Agren *et al.*, 2008). TOC 농도는 온도와 유출수와 관련되고 1년 중 TOC 농도는 온도와 연관되어 변화할 수 있다(Kohler *et al.*, 2008). 토양유기탄소 격리의 중요성은 증가하는 토양 유기탄소량은 대기의 CO_2 농도를 줄인다는 가정에 기초하고 있다(Ringius, 2002). 반대로, 토양유기탄소의 손실은 대기 중 이산화탄소 농도의 증가로 여겨진다(Townsend *et al.*, 1997). 토양, 식생, 대기 탄소량은 주로 기후에 의해 좌우되는 반면에, 토양유기탄소 격리는 주로 식물잔사의 C가 토양에 돌아가는 것과 대기로 방출되는 것 사이의 균형에 의해 조절되어진다(Blanco-Canqui and Lal, 2004; Trumbore, 2009). 소지역단위에서는 식생 생산력, 토양통(Mathieu *et al.*, 2015), 미생물 활동인 반면에 지역단위에서는 강우와 온도가 토양탄소 변동을 제어한다(Hobley and Wilson, 2016; White *et al.*, 2009). 토양온도는 유기물질의 미생물분해에 영향을 미치는 중요 요소다(Conant *et al.*, 2011). 기후변화로 인하여, 토양온도는 미래에 상승할 것으로 예상되지만 미생물의 유기물 분해에 대한 온도의 효과는 단기간은 분명하나 장기간은 불분명하다(Conant *et al.*, 2011; Davidson and Janssens, 2006).

대기의 CO_2 농도의 증가와 질소 축적은 토양에 투여되는 식물잔사의 질을 변화시킨다. 상승된 대기 CO_2는 일반적으로 식물잔사의 질소 농도를 줄여 C/N율을 높이는(Novotny *et al.*, 2007; Dray *et al.*, 2014) 반면에 질소 축적은 반대의 효과를 낸다(Novotny *et al.*, 2007; Huang *et al.*, 2012). 식물잔사의 C/N율 변동은 토양탄소 순환에 특히 영향을 끼칠 것이다. 토양은 대기보다 탄소를 약 3.3배 많이 저장한다(Lal, 2004). 따라서 토양탄소 분해의 변화가 작더라도 대기 CO_2 농도에 대한 영향은 클 것이고 전지구적 변화와 토양탄소간에 긍정적인 피드백을 초래한다(Subke *et al.*, 2006). Peng 등(2004)은 1992년부터 2003년까지 필리핀의 국제미작연구소(IRRI)에서 수행한 실험과 기상자료를 분석한 결과, 생육기간의 최저온도가 1℃ 상승함에 따라 벼 수량이 10% 감소하였다고 하였다. 특히, 벼 등숙기의 고온이 쌀 품질에 악영향을 준다고 하였다(Kobata & Uemuki, 2004).

따라서, 본 연구에서는 소형 상부개방형 챔버를 이용하여 상승온도 환경을 조성하고 논토양과 벼 재배용수의 탄소량 변화와 벼 생육을 검토하고자 수행하였다.

재료 및 방법

상승온도 처리

본 연구는 2015년부터 2016년까지 전북 완주군에 위치한 국립농업과학원 구내 시험포장에서 수행하였다. 상승온도 환경을 조성하기 위하여 사각형태의 소형 상부개방형 챔버를 제작하여 시험포장에 설치하였다. 챔버는 태양광의 입사가 용이하도록 투명 폴리카보네이트 재질로 제작하였다. 소형 상부개방형 사각챔버는 각각 1 m (W)×1 m (D)×1 m (H) (Type 1), 1 m (W)×1 m (D)×1.2 m (H) (Type 2), 1m (W) ×1 m (D)×1.5 m (H) (Type 3)였다. 소형 상부개방형 챔버를 이용하여 온도처리구를 각각 대조구 주변온도(ambient), 처리구1 주변온도+0.4℃ (ambient+0.4℃) , 처리구 2 주변온도 +0.5℃ (ambient+0.5℃), 처리구 3 주변온도+0.9℃ (ambient+ 0.9℃)로 두었다. 각 처리구의 소형 상부개방형 챔버의 온도 변화는 2015년 7월 1일 부터 10월 13일 까지 대조로 설치한 노지와 상승온도 3개 처리구 등 모두 4개 처리구에 온도 센서를 설치하여 30분 간격으로 일평균기온, 일 최저기온의 평균, 일 최고기온의 평균기온을 조사하였다. 자제 제작한 상부개방형 챔버는 온도를 상승시킬 수 있고 강우량이 노지와 동일하게 영향을 받으므로 자연상태와 가까운 상태로 다른 환경의 변화를 최소화 하여 온도만을 상승시킬 수 있는 장점이 있다. 1/2,000 10a 와그너 포트에 토양을 충진한 후 2015년 4월 25일 사각챔버의 내부에 배치하였고 벼 이앙전 10일인 5월 20일에 농업용수로 담수하였다. 5월 30일 신동진벼를 3주 1본식으로 포트에 이앙하고 재배하였다. 벼 재배법은 농진청 표준재배법(농진청, 2001)에 따라 재배하였으며 재배후 벼의 수량 및 수량구성요소를 조사하였다.

시료채취 및 분석

토양시료는 시험 전에 채취하여 분석하였으며 토양의 pH와 EC는 각각 pH meter (Model 720A, Orion)와 EC meter (Model 145A, Orion)를 사용하여 측정하였다(NIAST, 2000). 토양 중 유기물은 습식산화분해법인 Tyurin법(농진청, 2010), 유효인산은 Lancaster법(농진청, 2010)으로 분석하였으며 치환성 양이온은 1N NH4OAc용액(pH 7)으로 침출하여 ICP-OES (GBC Integra XMP, Australia)를 이용하여 분석하였다(NIAST, 2000).

와그너 포트에 담수 후 벼를 재배하며 포트 물을 주기적으로 채취하여 TOC (총유기탄소)를 분석하였다. TOC는 950℃에서 WO3를 촉매로 사용하는 유기탄소분석기(Vario TOC cube, Elementar)를 이용하여 분석하였다. 이 중 TOC 분석은 2M HCl을 이용하여 inorganic carbon을 완전히 제거하고 건조 시킨 후 분석하였다. 벼 식물체의 C/N율은 CN 분석기(Vario MAX CN, Elementar)를 이용하여 분석하였다. 시험구의 시험전 토양의 화학적 특성은 Table 1과 같으며 시험에 사용한 토양은 작물 재배가 없던 절토지의 토양의 특성을 나타내었다.

Table 1. Chemical properties of soil used in this study

pH	EC	Organic Matter	Available P_2O_5	Exchangeable Cations ($Cmol\ kg^{-1}$)		
(1:5)	(dSm)	($g\ kg^{-1}$)	(mg/kg^{-1})	K	Ca	Mg
6.2	0.65	10.0	75	0.61	5.57	1.8

Table 2. Temperature distribution of small scale rectangular open-top chamber from July 1 to October 13, 2015

Temperature	Ambient	Ambient+0.4℃	Ambient+0.5℃	Ambient+0.9℃
Average Temperature	23.0℃	23.4℃	23.5℃	23.9℃
Maximum Temperature	29.4℃	32.6℃	33.1℃	33.4℃
Minimum Temperature	17.7℃	17.7℃	16.4℃	17.0℃

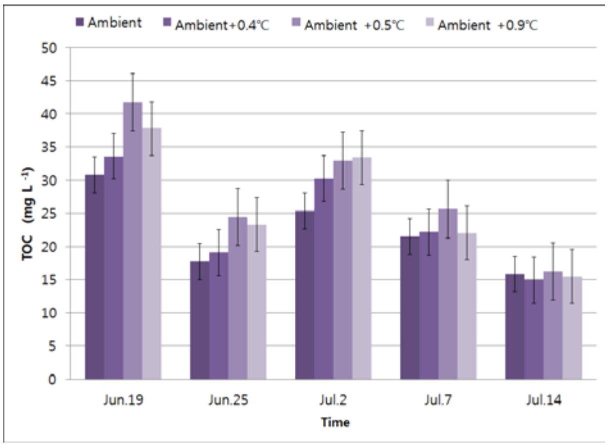

Fig. 1. Changes of total organic carbon (TOC) concentration in Wagner pot's surface water to up-regulated three different air temperature under the open-top chamber. Bars on the each column represent standard errors.

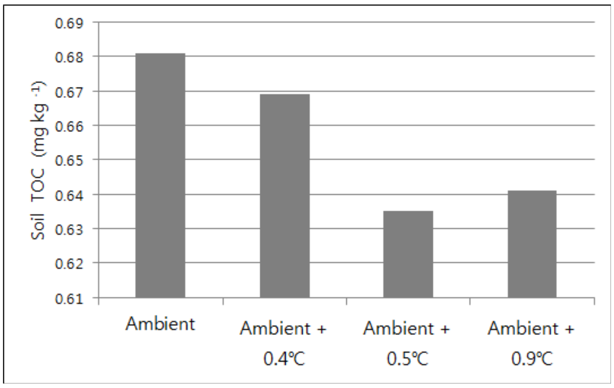

Fig. 2. Content of soil total organic carbon (TOC) affected by up-regulated three different air temperature in the open-top chamber.

결과 및 고찰

사각챔버의 온도분포 특성

7월 1일부터 10월 13일까지 측정한 상승온도 처리를 위한 사각챔버의 온도분포는 Table 2와 같다. 노지 대조처리구의 일평균기온의 평균은 23℃였고, 대조구 주변온도+0.4℃ (ambient+0.4℃) 처리구의 온도는 0.4℃가 높은 23.4℃ 였다. 주변온도+0.5℃ (ambient+0.5℃)의 온도는 0.5℃ 높은 23.5℃였으며, 주변온도+0.9℃ (ambient+0.9℃)의 온도는 0.9℃ 높은 23.9℃로 분포하였다.

일최고온도는 노지 대조구가 29.4℃에서 주변온도+0.9℃ (ambient+0.9℃)의 33.4℃까지 분포하였다. 일 최저온도는 노지 대조구가 17.7℃였고 주변온도+0.5℃ (ambient+0.5℃) 처리구가 16.4℃, 주변온도+0.9℃ (ambient+0.9℃) 처리구가 17.0℃로 노지 대조구 보다 낮게 나타났다.

2015년 5월 20일 와그너 포트에 토양을 충진하고 담수한 후 5월 30일 벼를 이앙하여 재배한 후 6월 19일 부터 주기적으로 와그너 포트의 물을 채취하여 TOC를 분석한 결과는 Fig. 1과 같다.

TOC 농도는 6월 19일 분석시 주변온도+0.4℃ (ambient +0.4℃), 주변온도+0.5℃ (ambient+0.5℃), 주변온도+0.9℃ (ambient+0.9℃) 처리에서 ambient 처리구 보다 높았다. 6월 25일과 7월 2일 채취하여 조사한 TOC 함량도 6월 19일과 같은 경향을 나타냈다.

7월 7일 채취하여 조사한 TOC 함량은 온도처리구의 TOC 농도가 감소하여 증가폭이 줄었고 7월 14일 조사한 TOC 농도는 주변온도+0.4℃ (ambient+0.4℃), 주변온도+0.5℃ (ambient+0.5℃), 주변온도+0.9℃ (ambient+0.9℃) 처리에서 대조구 주변온도(ambient) 처리구 보다 낮아졌다.

사각형태의 상부개방형챔버의 내부에 배치한 포트내에서 벼를 재배한 후 조사한 토양의 TOC 함량을 나타낸 것은 Fig. 2와 같다. 온도별로 처리한 결과를 보면 토양의 TOC 함량은 대조구 주변온도(ambient) 보다 주변온도+ 0.4℃ (ambient+0.4℃), 주변온도+0.5℃ (ambient+0.5℃), 주변온도+0.9℃ (ambient+0.9℃) 처리구에서 낮았다. 이것은 상승온도 처리에 의해 토양의 유기물 분해가 촉진된 결과로 판단된다.

따라서 소형 상부개방형 챔버를 이용하면 일최고온도는 조성이 용이하나 야간온도를 상승시키기 위해서는 전기장치 등을 이용하여 야간의 온도를 적절히 상승시킬 필요가 있는 것으로 생각되었다.

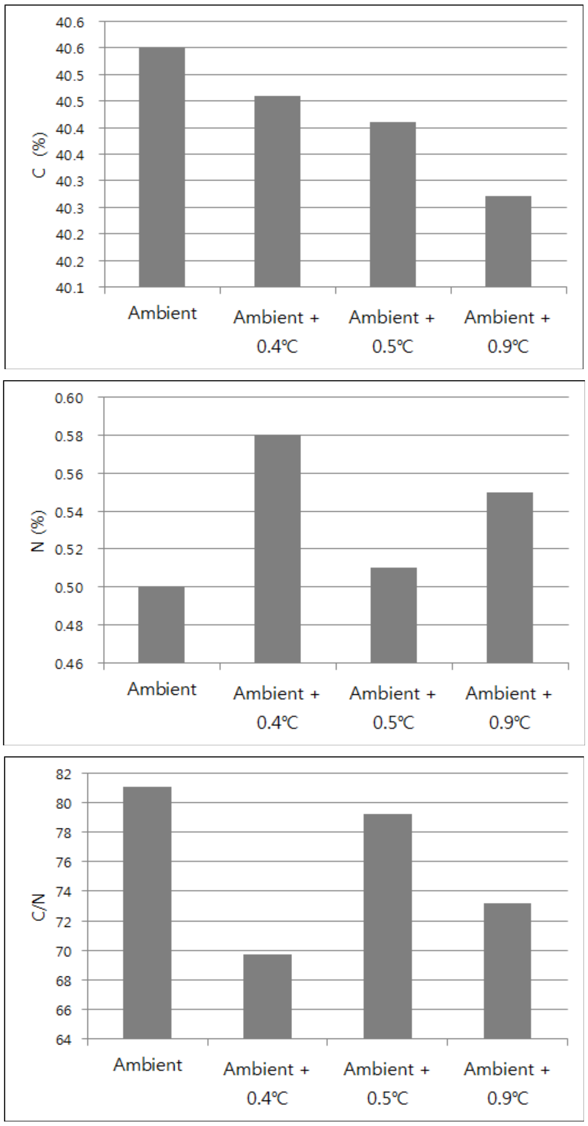

Fig. 3. C/N ratio of rice plant affected by three different elevated air temperature.

Fig. 1에서 포트 내 물의 TOC 함량이 상승온도 처리구에서 높아진 것은 토양내 유기물이 분해되어 물의 TOC 함량을 높인 결과로 판단된다.

본 연구는 1회 벼 재배시 온도상승에 의한 토양과 물의 탄소함량 등을 분석한 것으로, 벼 생장량 증가와 유기물 잔사 공급량 변화에 따른 토양탄소의 수지를 추적할 수 있는 추가적인 포장시험이 필요하다고 판단된다.

상승온도 처리에 따른 벼 식물체의 탄소함량, 질소함량 및 C/N 율을 나타낸 것은 Fig. 3과 같다. 상승온도 처리에 따라 벼의 탄소 함량은 낮아지는 경향이었는데, 대조구 주변온도(ambient) 처리구가 40.6% 에서 주변온도+0.9℃ (ambient +0.9℃) 처리구는 40.3 내외로 낮아지는 경향이었다.

상승온도 처리에 따라 벼의 질소 함량은 높아지는 경향이었는데, 대조구 주변온도(ambient) 처리구가 0.5% 에서 주변온도+0.9℃ (ambient+0.9℃) 처리구는 0.55% 내외로 증가하는 경향을 나타냈다.

따라서 벼 식물체의 C/N 율은 대조구가 81 내외에서 주변온도+0.9℃ (ambient+0.9℃) 는 73 내외로 감소하는 경향을 나타내었다. 상승된 대기 CO_2는 일반적으로 식물잔사의 질소 농도를 줄여 C/N 율을 높인다고(Novotny *et al.*, 2007; Dray *et al.*, 2014) 하였고, 반면에 질소 축적은 반대의 효과를 낸다고(Novotny *et al.*, 2007; Huang *et al.*, 2012) 하였다.

대기중 CO_2 농도의 증가에 의해 식물잔사의 C/N 율이 높인다고 하였으나 상승된 대기온도는 C/N 율이 감소하는 경향을 나타내어 대기 CO_2 농도 증가에 의한 C/N 율 증가와 상반된 결과를 나타내었다. 식물잔사의 C/N율 변동은 토양탄소 순환에 특히 영향을 끼칠 것으로 예상되므로 향후 대기중 CO_2 농도 증가와 온도상승의 상호작용을 검토할 필요가 있는 곳으로 판단되었다.

Table 3은 상승온도 처리별로 재배한 벼의 수량과 수량구성요소를 조사한 결과이다. 최소유의차검정(LSD) 결과 벼의 줄기길이(P<001), 줄기무게(P<0.05)는 상승온도 처리구가 대조구 보다 유의하게 증가하였다. 이삭수와 벼 알곡의 무게는 상승온도 처리구에서 대조구 보다 증가하는 경향이었으나 유의한 차이를 나타내지 않았다.

온도가 벼의 수량이나 품질에 미치는 영향은 생육기간 중 낮고 밤의 온도 차, 일사조건 등과 밀접히 관계되어 발현되는데, Suzuki (1980)는 일본에서 비교적 더운 지역에서의 벼 수량 형성에 대한 연구에서 벼 생육초기의 고온은 분얼과 잎의 생장을 촉진하거나 양분흡수를 증가시켜 벼 수량형성에 긍정적 효과를 주었지만 생육초기의 과잉생육은 유효경 비율

Table 3. Rice yield and yield component affected by elevated temperatures

Treatment	Culm length (cm)	Culm weight (g)	No. of panicles per plant	No. of spikelets per panicle	Percent ripened grain (%)	1000 grain weight (g)	Grain weight (g/plant)
Ambient	63.2	71.1	26.7	104.6	83.0	30.6	70.9
Ambient+0.4℃	66.5	80.7	28.7	97.7	78.5	30.4	67.2
Ambient+0.5℃	69.7	86.0	29.0	100.8	81.1	30.4	72.1
Ambient+0.9℃	71.2	85.5	29.3	99.0	82.8	30.9	74.0
LSD	***(2.57)	**(7.67)	ns	ns	ns	ns	ns

LSD : Least Significant Differences ***: P<0.01, **: P<0.05

이나 벼 생산효율의 저하를 가져와 수량의 감소에 영향을 주는 측면도 있다고 하였다. 벼 생육후기에는 호흡량 증가로 탄수화물 축적이 저하되고, 일찍 노화가 일어나며 등숙기간이 단축되어 수량형성에 부정적 효과를 준다고 하였다. 또한 여러 연구자들은 벼가 영양생장기에는 고온에 의한 피해가 거의 없지만 생식생장기, 특히 출수기에는 온도에 매우 민감하여 고온에서의 불임에 의한 피해가 우려된다고 하였다 (Prasad *et al*, 2006; Yoshida *et al.*, 1981; Jagadish *et al.*, 2007).

본 연구에서는 일평균온도는 상승온도 처리구가 대조구보다 각각 0.4℃, 0.5℃, 0.9℃ 높았고 일 최고온도는 상승온도 처리구가 대조구 보다 각각 3.2℃, 3.7℃, 4.0℃ 높았으나 임실율과 벼 알곡의 무게는 유의한 차이를 나타내지는 않았다. 그러나 임실율은 상승온도 처리에서 다소 감소하는 경향을 나타내어 경미한 고온장해를 받은 것으로 판단되었다. 또한 일최저온도는 상승온도 처리구가 대조구 보다 오히려 0.7~1.3℃ 낮아 고온장해의 해를 경감하는 효과를 나타낸 것으로 판단되었다.

요 약

상승온도 처리에 따른 논토양 탄소의 변동과 벼 생육을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다. 소형 상부개방형 챔버를 이용하여 대기온도 보다 0.4℃, 0.5℃, 0.9℃ 상승온도 환경을 조성하여 상승온도를 처리할 수 있었다. 사각챔버의 내부온도는 대기보다 평균온도와 최고온도가 높고 최저온도는 낮은 특징을 나타내었다. 상승온도 처리구의 포트 내 표면수의 TOC 농도는 대조구 보다 상승온도 처리구에서 높았고 시간이 경과함에 따라 점차 낮아졌다. 벼 재배후 토양의 TOC 함량은 대조구 보다 상승온도 처리구에서 낮았다. 상승온도 처리로 벼 식물체의 탄소함량은 감소하고 질소함량은 증가하여 C/N 율은 감소하는 경향을 나타내었다. 상승온도 처리로 대조구 보다 벼의 줄기 길이와 줄기무게가 유의하게 증가하였으나 이삭수와 벼 낟알 무게는 유의한 차이를 나타내지 않았다.

Notes

The author declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ012546)", National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

Blanco-Canqui, H., & Lal, R. (2004). Mechanisms of carbon sequestration in soil aggregates. Critical reviews in Plant Sciences, 23(6), 481-504.

Conant, R. T., Ryan, M. G., Ågren, G. I., Birge, H. E., Davidson, E. A., Eliasson, P. E., Evans, S. E., Frey, S. D., Giardina, C. P., Hopkins, F. M., Hyvönen, R., Kirschbaum, M. U. F., Lavallee, J. M., Leifeld, J., Parton, W. J., Steinweg, J. M., Wallenstein, M. D., Martin Wetterstedt, J. Å., & Bradford, M. A. (2011). Temperature and soil organic matter decomposition rates–synthesis of current knowledge and a way forward. Global Change Biology, 17(11), 3392-3404.

Cross, H. Z., & Zuber, M. S. (1972). Prediction of Flowering Dates in Maize Based on Different Methods of Estimating Thermal Units 1. Agronomy Journal, 64(3), 351-355.

Davidson, E. A., & Janssens, I. A. (2006). Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. Nature, 440, 165-173.

Dray, M. W., Crowther, T. W., Thomas, S. M., A'Bear, A. D., Godbold, D. L., Ormerod, S. J., Hartly, S. E., & Jones, T. H. (2014). Effects of elevated CO_2 on litter chemistry and subsequent invertebrate detritivore feeding responses. PLoS One, 9(1), e86246.

Hinton, M. J., Schiff, S. L., & English, M. C. (1997). The significance of storms for the concentration and export of dissolved organic carbon from two Precambrian Shield catchments. Biogeochemistry, 36(1), 67-88.

Hobley, E. U., & Wilson, B. (2016). The depth distribution of organic carbon in the soils of eastern Australia. Ecosphere, 7(1), 1-21.

Hope, D., Billett, M. F., & Cresser, M. S. (1994). A review of the export of carbon in river water: fluxes and processes. Environmental pollution, 84(3), 301-324.

Huang, W., Zhou, G., Liu, J., Zhang, D., Xu, Z., & Liu, S. (2012). Effects of elevated carbon dioxide and nitrogen addition on foliar stoichiometry of nitrogen and phosphorus of five tree species in subtropical model forest ecosystems. Environmental Pollution, 168, 113-120.

Jagadish, S. V. K., Craufurd, P. Q., & Wheeler, T. R. (2007). High temperature stress and spikelet fertility in rice (Oryza sativa L.). Journal of experimental botany, 58(7), 1627-1635.

Kobata, T., & Uemuki, N. (2004). High temperatures during the grain-filling period do not reduce the potential grain dry matter increase of rice. Agronomy

Journal, 96(2), 406-414.

Köhler, S. J., Buffam, I., Laudon, H., & Bishop, K. H. (2008). Climate's control of intra-annual and interannual variability of total organic carbon concentration and flux in two contrasting boreal landscape elements. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 113(G3).

Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma, 123(1-2), 1-22.

Mathieu, J. A., Hatté, C., Balesdent, J., & Parent, É. (2015). Deep soil carbon dynamics are driven more by soil type than by climate: a worldwide meta-analysis of radiocarbon profiles. Global change biology, 21(11), 4278-4292.

Novotny, A. M., Schade, J. D., Hobbie, S. E., Kay, A. D., Kyle, M., Reich, P. B., & Elser, J. J. (2007). Stoichiometric response of nitrogen-fixing and non-fixing dicots to manipulations of CO_2, nitrogen, and diversity. Oecologia, 151(4), 687-696.

Peng, S. B., Huang, J. L., Sheehy, J. E., Laza, R. C., Visperras, R. M., Zhong, X. H., Centeno, G. S., Khush, G. S., & Cassman, K. G. (2004). Rice yields decline with higher night temperature from global warming. Proceedings of the National academy of Sciences of the United States of America, 101(27), 9971-9975.

Prasad, P. V. V., Boote, K. J., Allen Jr, L. H., Sheehy, J. E., & Thomas, J. M. G. (2006). Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. Field Crops Research, 95(2-3), 398-411.

Ringius, L. (2002). Soil carbon sequestration and the CDM: opportunities and challenges for Africa. Climatic change, 54(4), 471-495.

Subke, J. A., Inglima, I., & Francesca Cotrufo, M. (2006). Trends and methodological impacts in soil CO_2 efflux partitioning: a metaanalytical review. Global Change Biology, 12(6), 921-943.

Townsend, A. R., Vitousek, P. M., Desmarais, D. J., & Tharpe, A. (1997). Soil carbon pool structure and temperature sensitivity inferred using CO_2 and $^{13}CO_2$ incubation fluxes from five Hawaiian soils. Biogeochemistry, 38(1), 1-17.

Trumbore, S. (2009). Radiocarbon and soil carbon dynamics. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 37, 47-66.

Urban, N. R., Bayley, S. E., & Eisenreich, S. J. (1989). Export of dissolved organic carbon and acidity from peatlands. Water Resources Research, 25(7), 1619-1628.

White II, D. A., Welty-Bernard, A., Rasmussen, C., & Schwartz, E. (2009). Vegetation controls on soil organic carbon dynamics in an arid, hyperthermic ecosystem. Geoderma, 150(1-2), 214-223.

Yan, W., & Hunt, L. A. (1999). An equation for modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. Annals of Botany, 84(5), 607-614.

Yoshida, S., Satake, T., & Mackill, D. S. (1981). High-temperature stress in rice [study conducted at IRRI, Philippines]. IRRI Research Paper Series 67, 1-15.

Ågren, A., Berggren, M., Laudon, H., & Jansson, M. (2008). Terrestrial export of highly bioavailable carbon from small boreal catchments in spring floods. Freshwater Biology, 53(5), 964-972.