

RESEARCH ARTICLE

농업용 난방기의 사용 연식에 따른 이산화탄소 배출농도 비교

국정우¹, 김나은², 최경문³, 김연중⁴, 김용주⁵, 서동철⁶, 김현태^{7*}

¹국립경상대학교 농업생명과학대학 생물산업기계공학과, ²국립경상대학교 농업생명과학대학원 바이오시스템공학과, ³국립경상대학교 스마트팜연구센터, ⁴한국농촌경제연구원 농산업혁신연구부, ⁵충남대학교대학원 바이오시스템공학과, ⁶경상국립대학교대학원 환경생명화학학과

Comparison of Carbon Dioxide Emission Concentration according to the Year of Use of Agricultural Heaters

Jung-Hoo Kook¹, Na-Eun Kim², Kung-Mun Choi³, Yeon-Jung Kim⁴, Yong-Joo Kim⁵, Dong-Cheol Seo⁶, Hyeon-Tae Kim^{1,2,*}

¹Bio-industrial Machinery Engineering, College of Agriculture and Life Sciences of Gyeongsang National University, Jinju, Republic of Korea

²Department of Bio-Systems Engineering, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju, Republic of Korea

³Smart Farm Research Center, Jinju, Republic of Korea

⁴Department of Agroindustry Innovation Research, Korean Rural Economic Institute.

⁵Department of Bio-Systems Engineering, Graduate School of Chungnam National University, Daejeon, Republic of Korea

⁶Department of Agricultural Chemistry, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju, Republic of Korea

*Corresponding author: bioani@gnu.ac.kr



OPEN ACCESS

DOI: <https://doi.org/10.12972/jame.20210007>

Received: December 27, 2021

Revised: December 27, 2021

Accepted: December 28, 2021

Copyright: © 2021 Journal of Agricultural Machinery Engineering



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

At the 21st General Assembly of the Parties in 2015, the Paris Agreement, which will be the basis of a new climate system in which all countries participate, was adopted from 2020, and a system in which all countries participate in GHG reduction was established to reflect their own circumstances. Korea should reduce a total of 276.5 million tons compared to BAU (850.8 million tons) in 2030, and the agricultural and livestock sector should reduce 1.6 million tons. In order to achieve this, this study was conducted because it was necessary to identify major greenhouse gas sources. The criteria for the year of use were divided into three stages: 5 years or less, 6 to 10 years, and 11 years or more, and 18 agricultural heaters actually used by farms were set, and gas from exhaust pipes was collected and analyzed. As an analysis device, a gas chromatography system (Agilent technologies 7890B) was used, and as a result of the analysis, the average carbon dioxide emission concentration was 971.83 $\mu\text{mol/mol}$ for 5 years or less, 1,209.83 $\mu\text{mol/mol}$ for 6 years or more and 10 years or less, and 1,268.5 μmol for 11 years or more. More samples will be required

for accurate results, but when comparing each value, it is judged that there is a difference in carbon dioxide emission concentration depending on the year of use of the agricultural heaters.

Keywords: Gas chromatography, Carbon dioxide, Emission concentration

Introduction

1992년 6월 유엔기후변화협약이 채택되며 선진국과 개도국이 ‘공동의 그러나 차별화된 책임’에 따라 각자의 능력에 맞게 온실가스를 감축할 것을 약속하였다(United Nations, 1992). 이후 1997년 제3차 유엔기후변화협약(UNFCCC) 당사국총회(COP3)에서는 선진국들의 수량적인 온실가스 감축의무를 규정한 교토 의정서(Kyoto Protocol)가 채택되었으나(United Nations, 1998) 선진국에만 온실가스 감축 의무를 부과하던 체제였고, 2015년 제21차 당사국총회(COP21, 파리)에서는 2020년부터 모든 국가가 참여하는 신기후체제의 근간이 될 파리 협정(Paris Agreement)이 채택됨으로(United Nation, 2015) 인해 모든 국가가 자국의 상황을 반영하여 온실가스 감축에 참여하는 보편적인 체제가 마련되었다.

우리나라는 ‘국가별 기여방안(INDC)’을 2015년에 제출하였으며, 2023년부터 5년 단위로 파리 협정의 이행 및 장기 목표 달성 가능성을 평가하기 위한 이행점검(global stocktaking)이 시행된다(Jeong et al, 2019). 우리나라의 INDC를 보면 2030년 BAU (850.8백만 톤) 대비 총 276.5백만 톤을 감축한 536백만 톤 이내로 유지를 목표로 하고 있으며, 농축산 부문의 감축 목표량은 BAU (20.7백만 톤) 대비 1.6백만 톤을 감축한 19.0백만 톤이다(Ministry of Environment, 2018). 우리나라의 온실가스 총 배출량은 2018년 기준 727.6백만 톤이고 그중 이산화탄소 배출량은 664.7백만 톤으로 총 배출량 중 대부분을 차지하고 있다(KOSIS, 2021). 90년대 이후 연평균 3.50%씩 증가하고 있어 지구온난화 대비 자발적 온실가스 배출량 감축이 요구되고 있다(Park & Kim, 2019). 온풍 난방기는 동절기에 작물의 성장을 위해 필수로 사용되고 있는 농기계임에도 불구하고, 국가통계포털(KOSIS)의 농업기계보유현황이나 농업기계이용실태조사 항목에 농업용 난방기는 누락되어 있다. 농축산 부문 감축 목표를 이루기 위해선 주요 온실가스 배출원을 식별할 필요성이 있고, 이에 따라 정확한 온실가스 배출량을 알 필요가 있다.

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)에선 National Greenhouse Gas Inventory를 1. Energy, 2. Industrial processes and product use, 3. Agriculture, Forestry, and other land use, 4. Waste, 5. Other로 분류하고 있다. 그중 농업용 난방기는 1. Energy - 1A Fuel Combustion Activities - 1A4 Other Sectors에 속한다(IPCC, 2006). 온풍 난방은 시설비가 저렴하고 우수한 온도 제어성을 가지고 있으며, 가장 보편적인 온실 난방 수단이다. 온실 온풍 난방에 사용하는 농업용 온풍 난방기는 사용 연료에 따라 경유, 등유, 중유, 화목, 가스 온풍 난방기 등으로 분류된다. 온풍 난방기의 최초 보급 시 열효율은 약 80%, 3년 및 5년 사용의 경우 약 63~64%, 10년 이상은 42%로 사용 연식이 증가함에 따라 열효율이 크게 변하는 것으로 나타났다(Kim et al, 2011). 2015년 경유가 면세유 대상에서 제외됨으로 인해 대부분의 농가에서 등유를 사용 연료로 채택함에 따라 등유 난방기를 실험 대상으로 설정하였고, 열효율 변화 구간에 따라 사용 연식의 구간을 선정하였다.

따라서 본 연구에서는 농업용 난방기의 배출구에서 배출되는 가스를 포집하여, 기기의 세부사항 중 사용 연식에 따른 이산화탄소의 배출 농도 차이를 비교함으로써 농업 부문 중 온풍 난방기의 이산화탄소 배출 현황을 파악하고자 한다.

Materials and Methods

가스 포집 대상 설정

가스 포집 장소는 경상남도 진주시, 고성군, 사천시, 산청군 지역이며, 실제 농가에서 사용하는 농업용 난방기를 대상으로 포집을 실시하였다. 유류 난방기의 사용 연료에는 경유, 중유, 등유 등 여러 종류의 연료가 있지만, 실제 농가에서는 면세 혜택을 받을 수 있는 등유를 연료로 사용하기에 농업용 난방기 중에서도 등유를 사용하는 기기를 대상으로 설정하였다. 농업용 난방기는 작물과 온실 구조, 난방 면적에 따라 사용하는 기종이 다르고, 기종 별 큰 차이점은 난방 능력(규격)과 연료소비량이다. 따라서 사용 연식과 규격을 고려해 농업용 난방기의 가스 포집을 수행하였다. Table 1은 가스 포집 대상의 기기 연식과 규격, 위치의 정보이다. 사용 연식의 설정 기준은 최초 보급 시 농업용 난방기의 열효율이 크게 변하는 5년, 10년을 기준으로 하여 5년 이하, 5년 초과 10년 이하, 10년 초과로 나누어 표본을 설정하였다. 기기 규격 별과 사용 연식 별로 정리한 결과 Table 2와 같이 각각의 표본 마다 2개씩의 가스 포집이 진행된 것을 확인할 수 있다.

Table 1. Gas collection target machine.

Number	Location	Usage period (years)	Machine volume (Kcal/hr)
Sample 1	Gajwa, Jinju	6	40,400
Sample 2	Myeongseok, Jinju	11	180,000
Sample 3	Goseong, Goseong	11	350,000
Sample 4	Goseong, Goseong	10	250,000
Sample 5	Gajwa, Jinju	11	150,000
Sample 6	Sacheon	4	100,000
Sample 7	Gonmyeong, Sacheon	3	278,000
Sample 8	Sugok, Jinju	8	180,000
Sample 9	Sugok, Jinju	3	180,000
Sample 10	Geumgok, Jinju	5	180,000
Sample 11	Gajwa, Jinju	12	80,000
Sample 12	Sugok, Jinju	5	60,000
Sample 13	Sugok, Jinju	6	180,000
Sample 14	Goseong, Goseong	12	350,000
Sample 15	Goseong, Goseong	5	250,000
Sample 16	Sancheong	8	100,000
Sample 17	Sancheong	11	200,000
Sample 18	Sancheong	7	340,000

Table 2. Gas Sample information.

Variable		Agricultural Heaters		
Machine volume (Kcal/hr)	Usage period (years)	Usage period (years)		Number of target machine (EA)
$x \leq 150,000$	≤ 5	4	5	2
	$6 \leq x \leq 10$	6	8	2
	≥ 11	11	12	2
$150,000 < x < 250,000$	≤ 5	3	5	2
	$6 \leq x \leq 10$	6	8	2
	≥ 11	11	11	2
$x \geq 250,000$	≤ 5	3	5	2
	$6 \leq x \leq 10$	10	7	2
	≥ 11	11	12	2

가스 포집 방법

본 연구에서는 EPA (United States Environmental Protection Agency) 산하 EMC (Air Emission Measurement Center)에서 공포한 Test Method 18 가스 크로마토그래피에 의한 가스 방출량 측정을 위해 가스를 포집하는 방법을 택하였다. 가스 포집은 Fig. 1(A)와 같은 가스시료채취기(가스포집기 10, Sant, Anyang, Korea)가 흡입 펌프를 이용하여 가스를 포집한다. 가스시료채취기의 사양은 Table 3과 같다.

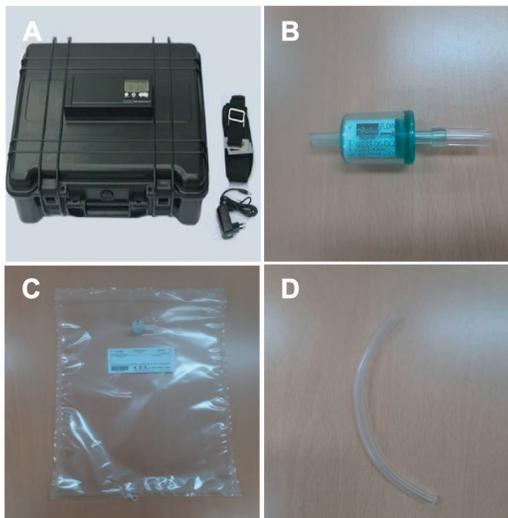


Fig. 1. Variation of SPAD values in paprika leaves for 18 days after temperature treatment.

Table 3. Collection device specification.

Menu	Description	Menu	Description
Internal battery	8.4 V / 2.9 Ah	Size	517×433×220 mm
Gas temperature range	0~40°C	weight	5.0 kg
Gas pressure range	1±0.2 atm	Collection capacity	1~10 L

Fig. 2와 같이 농업용 난방기의 배기구에는 약 1 m 길이의 덕트를 연결하여 외부로 배출되는 구조이고, 덕트의 바로 앞에서 가스를 포집하였다. 배기구에는 가스를 제외한 다른 물질도 있기에 Fig. 1(B)와 같은 필터를 사용하여 분별하였다. 포집 백으로는 내화학성이 좋은 Fig. 1(C)의 테드라(Tedlar) 백을 사용하였고, 가스시료채취기와 테드라 백을 연결하거나 외부에서 가스를 흡입할 때 사용하는 연결 튜브로는 Fig. 1(D)의 직경 6.4 mm 튜브를 사용하였다. 가스포집기 사용 방법은 가스시료채취기의 덮개를 열고, 연결 튜브를 이용하여 장치와 테드라 백을 이어준 다음, 테드라 백의 잠금 록 개폐 유무를 확인하여 닫혀 있다면 열고 전원 스위치를 ON으로 놓은 다음, 장치의 덮개를 닫는다. 이후 흡입구에 필터와 연결 튜브를 연결하여 포집 공간에 두고 RUN 스위치를 눌러 흡입 펌프를 가동하면 된다.

포집이 끝난 시료는 분석 전까지 보관되고, 위와 같은 방법으로 총 18개의 농업용 난방기에서 샘플을 포집하였다. 샘플은 Table 2와 같이 사용 연식이 5년 이하인 기기 6대, 5년 초과 10년 이하인 기기 6대, 10년 초과인 기기 6대로 총 18대를 대상으로 포집을 수행하였다.



Fig. 2. Leaf color of paprika seedlings grown for 18 days after temperature treatment. (A) 10/5°C, (B) 25/20°C, (C) 35/30°C

대상 가스 분석 방법

포집된 가스는 분석장비인 Gas Chromatograph System (7890B, Agilent technologies Inc., Santa Clara, USA)을 사용하여 분석을 실시하였다. 가스 크로마토그래피 분석법의 원리는 고정상으로 흡착성 물질을 충전하고 한쪽 끝에서 혼합 가스 시료를 캐리어 가스로 분리관 내를 통과시키면, 충전물에 대한 흡착성과 용해성 차로 시료 속의 각 성분이 이동속도 차를 일으켜 분리되고, 분리관 출구에 접속된 검출기(Detector)를 순차적으로 통과하며 성분량이 기록되는 원리이다. 기기의 검출기는 PDHID (Pulsed discharge helium ionization Detector)를 사용하였으며 이산화탄소와 메탄을 검출한다. 캐리어 가스는 60 mL/min으로 유량을 설정한 He (헬륨)을 사용하였고, 오븐 온도는 80°C, 검출기의 온도는 250°C로 설정하였다. Table 4는 PDHID의 분석 조건을 나타낸 표이다.

Table 4. Collection device specification.

Division	Condition	
Detector	-	PDHID
Target ingredient	-	CO ₂ , CH ₄
Column	Packing material	Carbogen
	Materials	UltiMetal
	O.D. × length	1/8 × 1.83 m
Carrier gas	-	He
Flow rate	Carrier	60 mL/min
Temperature	Oven	80°C
	Detector	250°C
Loop	-	0.5 mL

분석 기기의 모습은 Fig 3과 같고, 기기의 주입구에 시료 가스를 주입하게 되면 기기와 연결된 메스실린더에서 기포가 올라 오게 되는데, 이는 기기 안의 남은 기체가 빠져나오며 발생하는 기포로 가스의 주입이 원활하다는 것을 확인하는 용도이다.

분석기기의 안정화 및 표준 가스(Standard Gas) 측정을 위해 Rigas의 이산화탄소(DO14974) 가스를 3 mL 추출하여 시험 분석을 진행하였고, 분석 방법은 다음과 같다. 가스 주입 후 분석 기기를 가동하면, Oven의 온도는 2분 동안 80°C를 유지한 후 130°C까지 15°C/min의 속도로 상승된다. 이후 Oven의 온도가 150°C에서 3분간 유지되며 Post run (후처리)로 200°C에서 2분간 유지된다. Fig. 5와 같이 250°C가 되고 온도가 떨어지면 가스 분석의 결과가 나타나며 분석이 종료된다. 표준 가스의 Area값은 288,889, 농도는 506 μmol/mol (ppm)으로 Table 5와 같다.

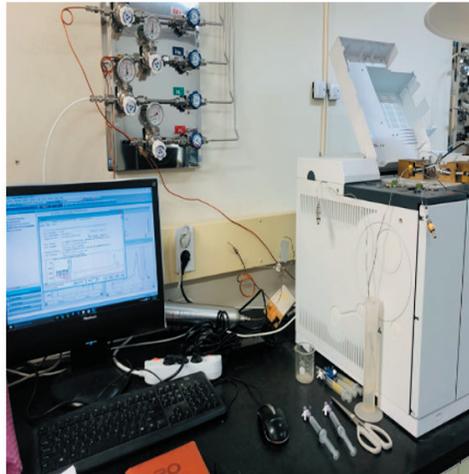


Fig. 3. Spectral reflectance of the first true leaf of paprika seedlings according to different temperature treatment and number of days. (A) 6 days, (B) 12 days, (C) 18 days

Table 5. Standard gas analysis results.

Gas	Time (min)	Area	$\mu\text{mol/mol}$ (ppm)
CO ₂	10.065	288,889	506

포집 가스(Sample)의 기기분석 결과가 나타나면 반응 계수(Response Factor)법에 의해 표준 가스의 값과 비교하여 이산화탄소 농도를 추정할 수 있다. 포집 가스의 Area값에 대한 표준 가스의 Area값의 비와 포집 가스의 농도에 대한 표준 가스의 농도의 비를 비교하는 방법으로 가스의 농도를 계산할 수 있다. 식(1)은 표준 가스와 포집 가스에 대한 식이다. 표준 가스의 면적 값과 농도, 포집 가스의 면적 값을 이용하여 포집 가스의 농도를 추정한다. 예를 들어 표준 가스의 Area값이 100이면 농도가 5 ppm일 경우, 포집 가스의 Area값이 20이면 농도를 1 ppm으로 추정할 수 있다.

Results and Discussion

Carbon dioxide emission concentration

표준 가스의 농도 분석 결과 이산화탄소 농도는 506 $\mu\text{mol/mol}$ 이었으며, Table 6은 포집 가스의 분석 결과를 식(1)을 이용하여 포집 가스의 농도를 추정한 표이다. Table 7은 사용 연식에 따른 이산화탄소 배출 농도의 평균을 나타낸 표이고, 사용 연식이 5년 이하인 농업용 난방기의 평균 이산화탄소 배출 농도는 971.83 $\mu\text{mol/mol}$ 이다. 6년 이상 10년 이하인 기기는 1,209.83 $\mu\text{mol/mol}$, 11년 이상인 기기의 평균값은 1,268.5 $\mu\text{mol/mol}$ 로 나타났고, 각각의 값을 비교하였을 때 사용 연식에 따라 이산화탄소 배출 농도에 차이가 있음을 도출해 낼 수 있다. 하지만, 본 연구는 표본의 개수가 적으므로 정확성 높은 결과를 위해서는 더 많은 표본이 필요할 것으로 보인다.

사용 연식뿐만 아니라 기기의 규격도 이산화탄소 배출 농도와 관계가 있는지 확인하기 위해 Table 8에 기기 규격과 사용 연식에 따른 이산화탄소 배출 농도와 평균을 나타냈다. 농업용 난방기의 사용 연식이 5년 이하이며 규격이 각각 150,000 Kcal/hr 이하, 150,000 Kcal/hr 초과 250,000 Kcal/hr 미만, 250,000 Kcal/hr 이상인 기기의 평균은 각각 940.5 $\mu\text{mol/mol}$, 965 $\mu\text{mol/mol}$, 1,010 $\mu\text{mol/mol}$ 로 나타났다. 사용 연식이 6년 이상 10년 이하인 기기는 각각 1,111.5 $\mu\text{mol/mol}$, 1,412.5 $\mu\text{mol/mol}$, 1,105.5 $\mu\text{mol/mol}$ 로 나타났고, 11년 이상인 기기는 각각 1,272.5 $\mu\text{mol/mol}$, 1,260 $\mu\text{mol/mol}$, 1,273 $\mu\text{mol/mol}$ 로 나타났다. 이러한 결과에 따라 농업용 난방기의 기기 규격은 이산화탄소의 배출농도에는 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 판단된다.

Table 6. Gas analysis results.

Variable	Agricultural Heaters			
	Usage period (years)		Concentration ($\mu\text{mol/mol}$)	
≤ 5	4	5	917	964
	3	5	951	979
	3	5	997	1,023
$6 \leq x \leq 10$	6	8	1,068	1,155
	6	8	1,578	1,247
	10	7	1,053	1,158
≥ 11	11	12	1,236	1,309
	11	11	1,254	1,266
	11	12	1,232	1,314

Table 7. Gas analysis results average (Usage period).

Usage period (years)	Average ($\mu\text{mol/mol}$)
≤ 5	971.83
$6 \leq x \leq 10$	1,209.83
≥ 11	1,268.50

Table 8. Gas analysis results average (Machine volume).

Variable	Agricultural Heaters			
	Usage period (years)		Concentration ($\mu\text{mol/mol}$)	
≤ 5	4	5	917	964
	3	5	951	979
	3	5	997	1,023
$6 \leq x \leq 10$	6	8	1,068	1,155
	6	8	1,578	1,247
	10	7	1,053	1,158
≥ 11	11	12	1,236	1,309
	11	11	1,254	1,266
	11	12	1,232	1,314

본 연구 결과 농업용 난방기의 사용 연식이 증가함에 따라 이산화탄소 배출 농도가 달라지는 결과가 나타났음에도, 영향의 원인이 기계의 노후화, 즉 연식의 차이에서 비롯된 것인지, 열효율의 감소 등 다른 외부 환경요소(포집 시 온습도의 차이 등)와 관련이 있는지에 대한 연구가 추가로 필요할 것으로 보인다. 본 연구 결과는 농업 부문의 온실가스 배출 통계량 조사에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Conclusion

본 연구에서는 농업용 난방기의 이산화탄소 배출농도와 사용 연식의 상관관계에 대해 비교 분석을 실시하였다. 실제 농가에서 사용하고 있는 농업용 난방기를 선정하여 18개의 Sample을 설정하였고, 산트의 가스 포집기 10을 이용하여 농업용 난방기의 배기구에서 가스 시료를 채취하였다. 포집 과정에서 먼지와 분진 등을 걸러내기 위하여 필터를 사용하였고, 포집 백으로는 내화성이 좋은 테드라 백을 사용하였다. 포집 가스는 Gas Chromatograph System을 이용하여 분석하였고, 기기의 디텍터는 PDHID이다. 분석은 농업용 난방기의 사용 연식에 따라 5년 이하, 6년 이상 10년 이하, 11년 이상 3그룹으로 나누어 진행하였고, 분석 결과 평균 이산화탄소 배출농도는 5년 이하 971.83 $\mu\text{mol/mol}$, 6년 이상 10년 이하 1,209.83 $\mu\text{mol/mol}$

mol, 11년 이상인 기기의 평균값은 1,268.5 $\mu\text{mol/mol}$ 로 분석되었다. 이러한 결과에 따라서 농업용 난방기의 사용 연식에 따른 이산화탄소 배출농도의 차이가 있다고 판단되지만, 신뢰성 높은 결과를 얻기 위해서는 더 많은 표본이 필요할 것으로 보인다.

Acknowledgements

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(세부 과제명: 고정형 농기계에 대한 배출계수 개발, 세부과제번호: PJ015098012020)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

- IPCC. 2006. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventory. 2: Energy.
- Jeong JH, Roh JY, Lee HS and Jeon EC. 2019. Development of Non-CO₂ Emission Factor of Wood Chip Fired Fluidized Bed Combustion. *Journal of Climate Change Research* 10(3), 2019.9, 221-226. [in Korea]
- Kim CK, Park SH, Kim YJ and Im DH. 2011. Change of Thermal Efficiency in several using terms of Agricultural Hot Air Heater. [in Korea]
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2021. National Greenhouse Gas Inventory (1990~2018). Assessed in <http://kosis.kr> on 13 January 2021. [in Korea]
- Ministry of Environment. 2018. 2030 greenhouse gas reduction roadmap. Assessed in <http://www.me.go.kr> on 24 July 2021. [in Korea]
- Park JY and Kim YJ. 2019. The Effects of Renewable Energy in Agricultural Sector. [in Korea]
- United Nations. 1992. United Nations Framework Convention on Climate Change.
- United Nations. 1998. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- United Nations. 2015. Adoption of the Paris Agreement.