

CO₂농도와 온도 상승이 한국의 주요 재배 벼품종의

생육과 생산량에 미치는 영향

-오대벼와 새추청벼-

이용필 · 장래하 · 조규태 · 유영한*

공주대학교 생물학과

Effects of elevated CO₂ concentration and increased temperature on the growth and crop yield of rice (*Oryza sativa*) cultivars in Korea

-cv. Odaebyeo and cv. Saechucheongbyeo-

Eung Pill Lee · Rae Ha Jang · Kyu Tae Cho · Young Han You+

Department of Biology, University of Kongju, Kongjusi, Chungcheongnamdo, Korea

요 약

온난화가 진행되면, 우리나라에서 재배되고 있는 주요 벼의 생육과 생산량이 어떻게 변화되는지를 알아보기 위해, 북부지방과 중부지방에 각각 가장 많이 재배되는 오대벼와 새추청벼의 유식물을 각각 대조구, 온도 상승구 및 CO₂+온도 상승구에서 재배하여 그 결과를 비교하였다. 새추청벼의 지상부생물량, 지하부생물량, 총 생물량, 개체당 이삭무게 그리고 낱알의 숙성 비율은 온도 상승구에서, 오대벼는 CO₂+온도 상승구에서 가장 높았다. 새추청벼와 오대벼의 개체당 이삭수는 환경구배 간 차이가 없었다. 새추청벼의 이삭당 낱알수는 환경구배 간 차이가 없었고, 오대벼의 것은 CO₂+온도 상승구에서 가장 많았다. 새추청벼의 낱알 한 개의 무게는 CO₂+온도 상승구, 오대벼의 것은 온도 상승구와 CO₂+온도 상승구에서 가장 무거웠다. 새추청벼의 분얼수는 대조구와 온도 상승구, 오대벼의 것은 대조구에서 가장 많았다. 본 연구를 종합적으로 정리해보면 새추청벼는 대조구보다 온도만 상승했을 때 잘 자랐고 곡물 생산량이 증가했지만 CO₂ 농도와 온도가 같이 상승했을 때는 차이가 없었다. 그리고 오대벼는 대조구보다 CO₂ 농도와 온도가 같이 상승했을 때 잘 자랐고 생산량이 증가했다. 앞으로 지구온난화의 영향으로 CO₂ 농도와 온도가 높아진다면, 새추청벼는 현재와 곡물수확량의 차이는 없겠지만 그에 반해 오대벼는 곡물수확량은 높아질 것이다. 따라서 지구온난화로 인한 기후변화가 지속된다면 곡물수확량을 고려한 종에 따른 벼 재배적지의 선정이 신중히 결정되어야 할 것으로 판단된다.

핵심어 : 곡물 수확량, 벼, 생물 생산량, 지구온난화, 탄소

Abstract

We grew seedlings of Saechucheongbyeo and Odaebyeo of rice cultivars that are cultivated dominantly in the northern and middle regions of Korea under control(ambient condition), ambient CO₂ concentration+elevated temperature, and elevated CO₂ concentration+elevated temperature in order to study how growth responses and crop yield of major rice of Korea change as the global warming proceeds and compared the results. Aboveground biomass, belowground biomass, total biomass, and panicles weight per individual and ripened grain rate of cv. Saechucheongbyeo were the highest under control, but those of cv. Odaebyeo were the highest under elevated CO₂ concentration+elevated temperature. There was no difference in the number of panicles per individual of cv. Saechucheongbyeo and cv. Odaebyeo in these experiments. There was no difference in the number of grains per panicle of cv. Saechucheongbyeo among three environmental gradients, but that of cv. Odaebyeo was the highest under elevated CO₂ concentration+elevated temperature. Weight of a grain of cv. Saechucheongbyeo was highest under elevated CO₂ concentration+elevated temperature, but that of cv. Odaebyeo was the higher under ambient CO₂ concentration+elevated temperature and elevated CO₂ concentration+elevated temperature. Thus, if global warming continues in Korea, selection of rice cultivation varieties must be chosen carefully for commendation.

Keywords : biomass production, carbon, crop yield, global warming, rice

+ Corresponding Author: youeco21@kongju.ac.kr

1. 서론

전 세계적으로 일어나고 있는 지구온난화(Global warming)의 가장 큰 원인은 인간 활동의 결과로 발생하는 CO₂ 농도 증가에 있다(Kobayashi, 2006). 지난 100년 간 지구의 평균 온도는 0.6°C 상승하였고, 최근에는 년 0.74°C의 증가율로 지구 온난화가 더욱 가속되어 진행되고 있다(IPCC, 2007).

지구온난화로 인해 일어나고 있는 기후변화는 한반도 또한 예외는 아니다. 한반도의 2010년 평균 CO₂ 농도는 394.5 ppm 으로 1999년의 평균 CO₂ 농도 370.7 ppm 보다 23.8 ppm 상승한 수치였고(Korea Meteorological Administration, 2010), 기온은 지난 97년간(1912-2009) 약 1.7°C 상승하였다(IPCC, 2007). 이로 인해 한국에서는 기온상승과 더불어 병해충이 증가하여 쌀 생산량의 감소, 과수 등의 품질 저하, 고랭지 채소 재배면적 축소 등 피해가 발생하고 있다(Lee et al., 2010).

농작물 재배지의 기후는 농업의 생산량과 밀접한 관계를 가지고 있는데, 온대지역의 농작물은 온도가 1-3°C 높아지면 생산량이 증가하지만 그 이상으로 높아지면 오히려 감소한다(IPCC, 2007). 이런 기후 변화는 작물의 생장에 중요한 영향을 끼치고 있다. 작물이 자라는데 있어 기후조건은 각 성장단계별로 적절하게 충족되어야 하며 그렇지 못할 경우 작물의 꽃이나 열매 등의 발생과 생육이 장애를 입어 농작물의 생산량이 감소하게 된다(Lee et al., 2008). 농작물 중 벼는 논이나 밭에서 키우는 다른 작물에 비해 생산량이 높고 생산량의 변화폭이 적기 때문에 동아시아 지역은 물론 한반도를 비롯한 동북아시아에서 주식으로 이용하고 있으며, 한반도의 전 지역에서 재배되고 있다(Lee and Lee, 2008). 이러한 측면에서 볼 때 벼의 생산량에 미치는 지구 온난화의 영향을 파악하는 것은 미래의 안정적인 식량 확보를 위해서도 매우 중요하다고 할 수 있다(Thang, 2008).

세계적으로 CO₂ 농도 그리고 온도의 증가와 벼의 성장과 생산량에 영향을 준다는 다양한 연구결과가 있으나(Jagadish et al., 2007; Fan et al., 2010), 우리나라에서는 지구온난화가 현재 재배되고 있는 벼품종에 미치는 연구는 적은 편이다(Lee et al., 2008; Lee et al., 2010; Lee and Lee, 2008; Lee, 2010; Thang, 2008).

따라서 본 연구는 현재 우리나라의 북부지방과 중부지방에서 각각 가장 많이 재배되고 있는 벼 품종을 대상으로 지구온난화가 되면 이 재배되고 있는 벼품종의 생육과 생산량이 어떻게 변하는지를 알아보고자 시도하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험재료 및 방법

재배품종으로 사용한 벼는 현재 한국의 중부지방과 북부지방에서 가장 많이 재배되고 있는 새추청벼(*Oryza sativa* cv. Saechucheongbyeol)와 오대벼(*Oryza sativa* cv. Odaebeol)이다(Choi et al., 2000; Lee et al., 2008).

새추청벼는 개화시기가 8 월중순과 9 월중순에 걸쳐 일어나는 중만생종으로 중부평야 및 남부중산간지 재배에 알맞고 생육 전 기간에 걸쳐 병해에 강하고 추청벼의 잎 도열병을 보완한 품종이다(Choi et al., 2000). 그리고 오대벼는 꽃이 일찍 피고, 일찍 성숙하는 조생종으로 중북부 중산간지와 북부 내륙평야에서 재배하며 표준적인 개화기의 것보다 일찍 꽃이 피고 비와 바람에 강한 품종이다(Lee et al., 2011).

2.2 환경요인 구배 처리

본 실험은 지구온난화의 핵심 요소인 CO₂ 농도와 온도 상승이 새추청벼와 오대벼의 생태적 반응에 미치는 영향을 알아보기 위하여 진행되었다.

실험은 대조구, 온도 상승구, 이산화탄소 및 온도 상승구 등의 3 구배에서 진행되었다. 대조구는 대기 중의 CO₂ 농도와 온도를 그대로 반영하였다. 온도 상승구의 CO₂ 농도는 대조구와 같은 일반대기조건을 사용하였고, 처리한 온도는 한반도의 경우 지난 97년간(1912-2009) 기온이 약 1.7°C 상승하여 전 지구의 평균기온(0.74°C)의 2 배 이상으로 전 지구적인 추세를 상회하고 있음(Ministry of Environment, 2012; IPCC, 2007)을 바탕으로 대조구보다 약 1.5°C 상승한 값으로 유지하였다. CO₂+온도 상승구의 온도는 온도 상승구의 온도로, CO₂ 농도는 지구온난화 B1 시나리오(IPCC, 2007)의 750-800 ppm으로 각각 하였다.

처리된 CO₂는 CO₂ 가스통 2개를 설치한 뒤, 각 통에 두 개의 구멍이 난 지름 0.2 mm 인 플라스틱 호스를 유리온실에 높이 2 m 에서 가스가 분산되도록 호스에 10 cm 간격으로 지름 0.1 mm 내외의 구멍을 땅바닥 쪽을 향하여 내었다. 이는 이산화탄소 가스가 공기보다 무거운 성질을 고려하여 반영한 것이다. 벼의 최대 성숙높이인 1.5 m 정도에 이산화탄소 농도측정 센서가 달린 이산화탄소농도자동조절장치인 LCSEMS (PARUS Co., Cheonan-si, Korea)을 설치하여 이산화탄소 농도를 유지하였다. 또한 이 장치를 이용하여 온도를 10 분 간격으로 측정하였으며, 온도는 환풍기를 통하여 조절하였다.

월별 평균 기온을 측정한 결과, 대조구는 평균 23.5°C, 온도 상승구와 CO₂+온도 상승구는 평균 1.5-2°C 정도 대조구보다 높았다. 대조구, 온도 상승구, CO₂+온도 상승구의 CO₂ 농도는 대조구와 온도 상승구는 360-400 ppm, 그리고 CO₂+온도 상승구는 740-750 ppm으로 유지되었다.

각 구배(대조구, 온도 상승구, CO₂+온도 상승구)에 2012년 5월에 새추청벼와 오대벼의 종자를 수조(가로 30 cm × 세로 60 cm × 높이 20 cm)에 50 개씩 파종하였다. 광은 자연광을 사용하였고, 수분공급은 2-3 일 간격으로 같은 양을 공급하였다. 재배에 사용한 흙은 유기물함량이 높은(10%) 점토성의 것으로 금강유역의 습지에서 채토 후 건조중량을 재어 동일한 양이다.

2.3 생태적 반응 측정 및 분석

두 벼 품종의 생태적 반응은 결실기인 10월에 수확하여 뿌리에 붙어 있는 흙을 털어내고 지상부, 지하부 그리고 이삭으로 구분하여 4-5일 동안 그늘진 곳에서 건조시켜 저울(UX 420H, 1987, SHIMADZU, Suzhou, Japan)을 이용하여 무게를 측정하였다. 영양기관은 줄기 무게(g), 잎 무게(g), 지하부 무게(g) 그리고 분얼수(ea)로 구분하여 측정하였고, 생식생장은 개체당 이삭수(ea), 개체당 이삭무게(g), 이삭당 낱알수(ea) 그리고 낱알 한 개 무게(g)를 측정하였다.

환경구배에 따른 생태적 반응의 경향성을 밝히기 위하여 분산분석(analysis of variance, ANOVA)을 시행하여 각 품종간, 환경구배 간 평균 차에 대하여 통계적 유의성을 검정하였다. 환경구배별 차이의 유의성은 포스트-훅 검정에 의해 평균치의 피셔의 최소유치차 범으로(Fisher's LSD) 계산하였다. 환경요인에 따른 두 품종의 전체적인 분포상태를 밝히기 위해 형태의 평균시간의 상관계수로 이용하여 주성분분석(principal component analysis, PCA)으로 정리하였다(No and Jeong, 2002).

3. 결과 및 고찰

3.1 품종내 비교

지상부생물량, 지하부생물량 그리고 총 생물량은 새추청벼에서 온도 상승구에서, 오대벼는 CO₂+온도 상승구에서 각각 가장 높았다(Fig. 1a-1c). 오대벼의 결과와 같이 동시에 CO₂+온도를 상승시켰을 때 부위별 생물량과 총 생물량을 증가시키는 것은 이산화탄소 농도의 증가로 벼의 유기양분 생성이 촉진되었고,

열대성 작물의 광합성이 증가하였기 때문으로 해석된다(Yang et al., 2006).

Thang (2008)은 동진벼가 대기 이산화탄소 농도가 단독으로 상승할 경우 생육기간 동안 지상부와 지하부의 생물량이 증가, 온도가 단독으로 상승할 경우 광합성 산물량의 증가로 인해 생물량이 증가 그리고 이산화탄소 농도와 온도가 동시에 상승할 경우 총 생물량은 18%나 증가하였다고 밝혔다.

개체당 이삭수는 새추청벼와 오대벼 모두 환경구배 간 차이가 없었다(Fig. 1d). 개체당 이삭무게는 새추청벼에서 온도 상승구, 오대벼는 CO₂+온도 상승구에서 가장 무거웠다(Fig. 1e). 분얼수는 새추청벼에서 대조구와 온도 상승구, 오대벼는 온도 상승구에서 가장 많았다(Fig. 1g). 개체당 이삭수는 논으로 옮겨 심은 후부터 낱알이 나오는 시기의 주변 환경에 영향을 받는다(Lee and Lee, 2008).

본 연구의 결과는 기온의 증가에 따라 벼의 새로운 줄기의 수가 증가된다고 보고되었으나(Baker et al., 1992), 높은 이산화탄소의 농도 조건에서 온도의 증가는 벼의 새로운 줄기 형성에 영향을 주지 않는다(National Academy of Agricultural Science, 2008)는 보고와 같이 새추청벼와 오대벼의 개체당 이삭수와 분얼수는 CO₂의 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.

본 연구에서 이삭당 낱알수는 새추청벼에서 환경구배 간 차이가 없었고, 오대벼는 CO₂+온도 상승구에서 가장 많았다(Fig. 1f). 그리고 낱알 한 개의 무게는 새추청벼에서 CO₂+온도 상승구, 오대벼는 온도 상승구와 CO₂+온도 상승구에서 가장 무거웠다(Fig. 1i).

이삭당 낱알수는 벼의 낱알이 나오고 그 후 퇴화된 벼의 낱알의 차에 의해 결정되고, 벼의 낱알 무게는 이삭이 나오고 벼의 낱알이 성숙하는 시기의 환경 조건에 영향을 받는다(Lee and Lee, 2008). Suzuki (1980)는 이삭이 나오기 전 6 주간의 평균온도와 낱알수는 상호연관이 높으며, 같은 시기의 평균온도가 증가할수록 낱알수는 감소한다고 하였다. Lee (2010)도 마찬가지로 증가된 온도에서 이삭당 낱알수가 크게 감소하였다. 하지만 새추청벼와 오대벼의 이삭당 낱알수는 온도가 상승하여도 대조구보다 증가하거나 감소하지 않았다. 그리고 벼의 낱알이 맺기 시작할 때 CO₂ 농도와 온도가 높으면 벼의 낱알수도 낮아진다는 연구보고(Xiao, 2005)와는 다르게 오대벼의 이삭당 낱알수는 CO₂+온도 상승구에서 가장 많았다. 새추청벼와 오대벼에서 낱알 한 개의 무게는 CO₂+온도 상승구에서 가장 무거운 것은 이산화탄소만 상승하였을 때 영향은 없지만(Thang, 2008), 온도가 동시에 증가하면 벼의 낱알 무게는 크게 영향을 받은 것으로

보인다.

숙성된 낱알 비율은 새추청벼에서 온도 상승구에서, 오대벼는 CO₂+온도 상승구에서 가장 높았다(Fig. 1h). 벼의 낱알이 맺히는 시기에 온도가 너무 높으면 알맹이는 없고 속이 빈 낱알이 많이 생기는데 23°C 이상이면 벼 낱알의 숙성이 이루어지지만, 35°C 이상이 되면 다시 알맹이는 없고 속이 빈 낱알 비율이 높아진다(Xiao, 2005). 이런 결과는 본 연구에서 처리한 온도가 이 범위(23-35°C)에 들어가기 때문으로 해석된다.

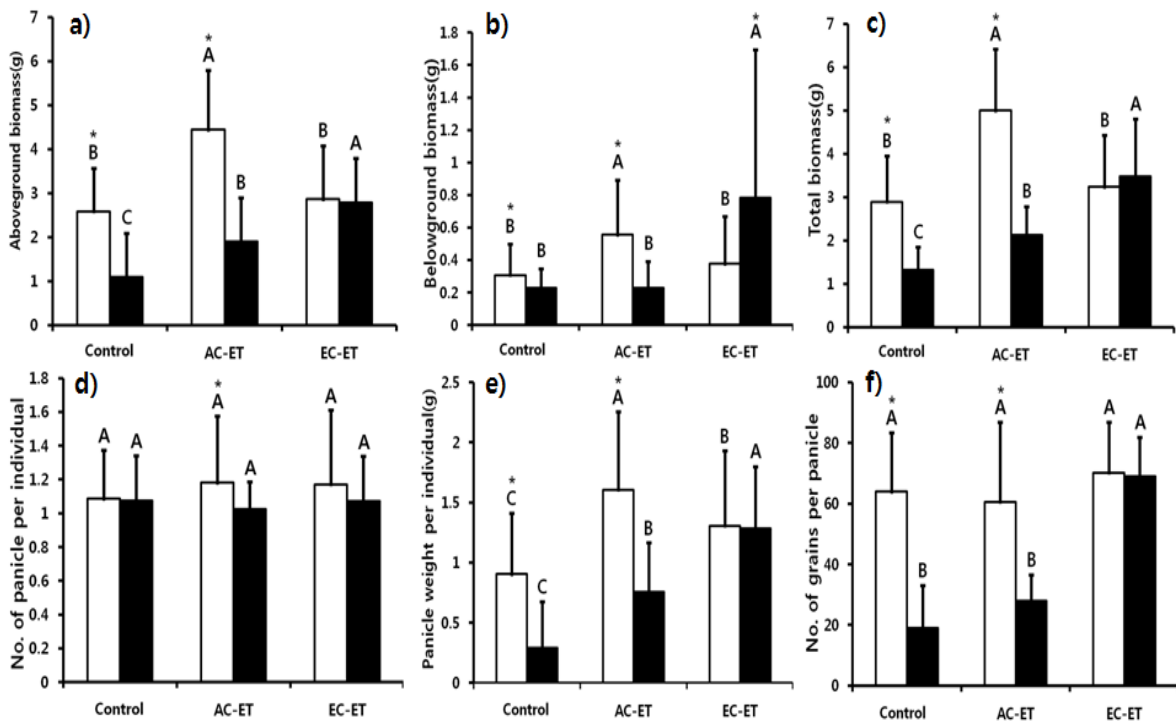
3.2 품종간 비교

지상부생물량, 지하부생물량 그리고 총 생물량은 새추청벼가 오대벼보다 대조구와 온도 상승구에서 높았다. 하지만 지하부생물량은 오대벼가 새추청벼보다 CO₂+온도 상승구에서 무거웠다. 나머지 환경구배에서는 품종간 차이가 없었다(Fig. 1a-1c). Lee (2010)의 연구에서 이산화탄소 농도 증가에 따른 평안벼(중부지방)와 일미벼(남부지방)의 생물량 차이는 없었다. 본 연구에서 온도 증가에 따라 오대벼와 새추청벼의 생물량의 차이는 있었지만, Lee (2010)와 비슷하게 이산화탄소 농도 증가에 따른 두 품종의 지하부생물량을

제외하고는 생물량 차이는 없었다.

개체당 이삭무게, 이삭당 낱알수 그리고 숙성된 낱알 비율은 새추청벼가 오대벼보다 대조구와 온도 상승구에서 높았다(Fig. 1e, 1f, 1h). 개체당 이삭수는 새추청벼가 오대벼보다 온도 상승구에서 많았다(Fig. 1d). 하지만 하나의 낱알무게는 오대벼가 새추청벼보다 온도 상승구와 CO₂+온도 상승구에서 무거웠다(Fig. 1i). 나머지 환경구배에서는 차이가 없었다. 이러한 결과는 대조구 대비 온도(1.3-2.4°C)만 증가해도 이삭당 낱알수가 크게 감소한 일미벼(5%)나 평안벼(15%)의 것(Lee, 2010)과는 매우 상반된 것이다.

이러한 연구간의 차이는 벼의 재배 품종간의 차이에 나타나는 생태적 반응의 차이로 판단된다. 다만, 우리가 연구한 오대벼나 새추청벼보다 일미벼나 평안벼가 남쪽지방의 주요 재배품종임을 감안할 때 일반적으로 예측되는 지구온난화에 대한 식물의 반응-남쪽(따뜻한 지방)에서 사는 식물이 지구온난화에 더 잘 자란다-의 결과와 서로 달라 이에 대한 실험이 필요하다. 즉 현재 한반도의 각 지역에서 재배되고 있는 주요 품종에 대한 지구온난화에 대한 동일 조건하에서의 상호비교 실험이 수행되어야 할 것으로 판단된다.



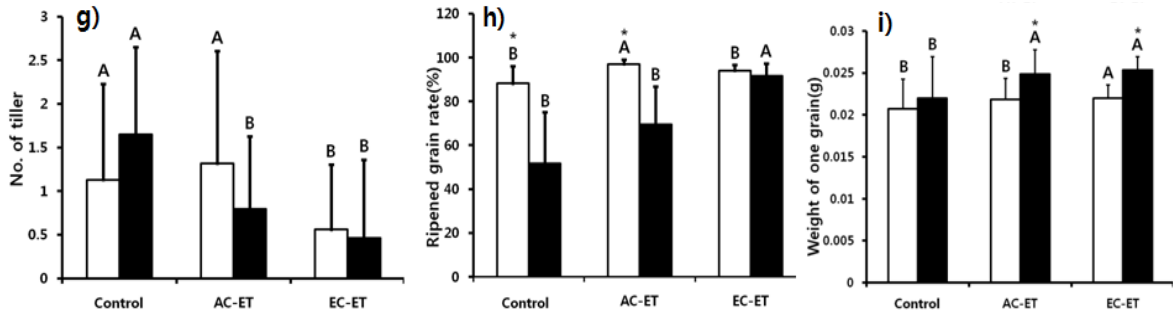


Fig. 1. Growth and yield characteristics of Saechucheongbyeo(□) and Odaebyeo(■) under three gradients. Alphabets on the bars mean significant difference among environmental gradients level and stars(*) on the Alphabet mean significant difference between Saechucheongbyeo(□) and Odaebyeo(■) under three gradients(Fisher's least significant difference, $p < 0.05$). (Control ; ambient CO₂ concentration+elevated temperature, AC-ET ; ambient CO₂ concentration+elevated temperature, EC-ET ; elevated CO₂ concentration+elevated temperature).

3.3 주성분 분석

두 품종에서 처리구에 대한 반응의 변이는 오대벼의 온도 상승구(O-T)가 가장 적었고, 오대벼의 대조구(O-T)나 이산화탄소+온도 상승구(O-CT)의 개체들이 넓었다. 그러나 새추청벼의 개체들의 변이는 구배 간 오대벼보다 적은 편이었다(Fig. 2).

새추청벼는 2차원 좌표상에서 왼쪽부터 오른쪽으로 온도 상승구(S-T), 이산화탄소+온도 상승구(S-CT), 대조구(S-C)순으로 분포하였다. 그런데 오대벼는 왼쪽부터 이산화탄소+온도 상승구(O-CT), 온도 상승구(O-T), 대조구(O-C)순으로 분포하였다. 두 품종의 공통점은 모두 각 품종 안에서 두 처리구보다 대조구의 개체들이 모두 왼쪽에 분포하였다.

그러나 두 품종은 처리구에서 서로 다르게 반응한 것을 알 수 있다. 즉 새추청벼는 대조구에 비하여 크게 차이가 나는 방향으로 반응하는 것은 온도만 상승한 구(S-T)이다. 오대벼는 새추청벼와는 다르게 대조구와 크게 차이가 나는 것은 온도 상승구(O-T)가 아니라 이산화탄소+온도 상승구(O-CT)의 개체들이었다. 이러한 결과는 두 품종이 지구온난화 조건이 되었을 때 서로 다르게 반응함을 의미한다.

두 품종의 환경처리에 따른 배열법상의 분포에 영향을 미치는 생태적 측정형질은 낱알 한 개의 무게를 제외한 나머지 8 가지 측정항목이 관련성이 높게 나타났다(Table 1). 이 결과는 두 품종의 생태학적 반응이 어떤 핵심적인 소수의 형질에 의한 것이 아니라, 식물체의 전체적인 형질이 종합적으로 관여하고 있음을 의미한다(Cho et al., 2013; Han et al., 2009).

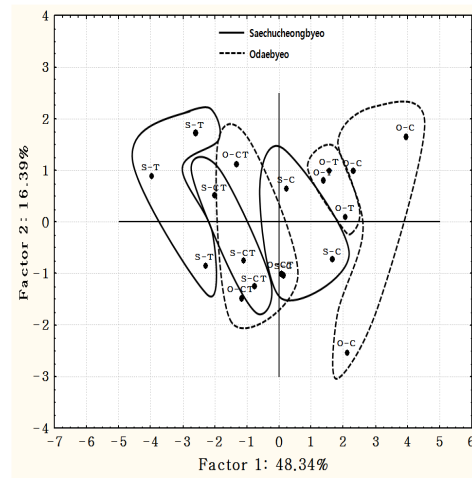


Fig. 2. PCA ordination of 9 individuals of cv. Saechucheongbyeo(S) and cv. Odaebyeo(O) of rice using 6 variables treated to environmental factors (C: ambient CO₂-ambient temperature, T: ambient CO₂-elevated temperature, CT: elevated CO₂-elevated temperature).

Table 1. Correlation matrix of 9 ecological response variables with the first two principal component scores of PCA analysis.

| Variables | Factors | |
|----------------------------------|-----------|-----------|
| | I | II |
| Aboveground biomass | -0.947244 | -0.053458 |
| Belowground biomass | -0.511575 | -0.574751 |
| Total production | -0.950342 | -0.150362 |
| No. of panicle per individual | -0.253173 | -0.517801 |
| Weight of panicle per individual | -0.910576 | -0.317472 |
| No. of grains per panicle | -0.883365 | -0.272402 |
| No. of tiller | -0.268487 | -0.777679 |
| Ripened grain rate | -0.736971 | -0.266703 |
| Weight of one grain | -0.003642 | -0.024459 |
| Variance explained(%) | --48.34 | --16.39 |

3.4 곡물수확량

앞으로 지구온난화로 인한 기후변화로 인하여 세계의 식량은 당장은 크게 부족하지 않겠지만(Kim, 2012), 2080년까지 전 지역에 따라서 온대 농업이 증가하지만 열대 농업은 감소할 것이다. 뿐만 아니라 전 세계적으로 경제규모가 양적으로 빠르게 진행되어도 벼 생산량은 기후변화가 없을 때에 비하여 2% 이내로 감소할 것이다(Fischer et al., 2002).

본 연구에서 새추청벼와 오대벼의 개체당 이삭수는 환경구배 간 차이가 없었다(Fig. 3d). 하지만 온도가 증가하면 새추청벼는 숙성된 낱알비율이 높아졌고(Fig. 3h), CO₂ 농도와 온도의 상승은 오대벼의 이삭당 낱알수, 숙성된 낱알비율 그리고 하나의 낱알무게가 높아져 생산량이 증가 되었다(Fig. 3f, 3h, 3i).

곡물수확량은 개체당 이삭수, 이삭당 낱알수, 숙성된 낱알 비율, 낱알무게에 의해 정해지는데, 곡물수확량을 높이기 위해서는 이들 요소가 모두 높게 유지되도록 하는 것이 중요하다(Park et al., 2006). 단위면적당 이삭수가 많아지면 상대적으로 숙성된 낱알 비율과 이삭당 낱알수는 적어진다(Yamamoto et al., 1991)는 보고와 달리 본 연구에서 새추청벼와 오대벼의 개체당 이삭수는 모두 환경구배간 차이가 없었지만, 오대벼는 이삭당 낱알수와 숙성된 낱알비율이 증가하였고, 새추청벼는 숙성된 낱알비율이 증가하였다.

지구온난화가 진행되면 벼의 낱알이 익어가는 기간 동안 온도상승으로 인해 곡물수확량이 20-30% 감소할 것이다(Yun et al., 2001). Yun (1990)도 온도가 높아지면 이삭이 나오고 낱알이 익어가는 기간 동안 온도상승으로 인해 곡물수확량이 20-30% 감소했다. 하지만 본 연구에서 오대벼는 곡물수확량이 증가하였다. 일반적으로 이산화탄소 농도의 상승은 벼의 곡물수확량을 증가시키는데, 그 요인은 개체당 이삭수와 총 이삭수의 증가에 있다(Baker et al., 1992; Yang et al., 2007; Thang, 2008). Thang (2008)의 연구에서도 이산화탄소가 단독으로 상승할 경우 동진벼의 생산량이 8%정도 증가하는데, 그 요인은 이삭수 증가에 있다고 밝혔지만, 본 연구에서 곡물수확량을 증가시키는데 개체당 이삭수는 관련이 없었다.

앞으로 지구온난화로 인한 기후변화로 인하여 세계의 식량, 그 중에서 벼 생산량은 2% 이내로 감소가 예측되었다(Kim, 2012; Fischer et al., 2002).

현재 한반도는 온대 기후에 속하지만, 앞으로 아열대 기후 등으로 변할 것으로 예측된다(Ministry of Environment, 2012). 한반도에서 지구온난화의 영향으

로 인해 작물기간(일평균기온 15°C 이상의 기간)이 25일-57일 늘어남에 따라 조생종 벼의 재배지대는 중북부 중산간지와 북부내륙평야지대에서 중생종벼의 재배지대인 중부평야 및 남부 중산간지로, 중생종 벼의 재배지대는 만생종 재배지대인 남부평야지대로 바뀌고, 북방한계선 너머에 있는 북부의 산간지역에도 조생종 벼 재배를 시도할 수 있을 것으로 예상되고 있다(Yun et al., 2001).

본 연구에서 사용한 오대벼는 북부지방에서 주로 재배되는 품종이며 새추청벼는 중부지방에서 주로 재배되는 품종이다. 앞으로 두 품종의 재배지도 현재보다 북쪽으로 이동하여 재배 가능할 것으로 예상되나 새추청벼는 본 연구결과에 의하면 지금의 재배지보다 온도가 높은 남부지방에서 재배하는 것이 곡물수확량이 더 높을 것이라 판단된다. 그리고 지구온난화의 영향으로 온도뿐만 아니라 CO₂농도가 동시에 높아진다면, 새추청벼는 현재와 같이 곡물수확량의 차이는 없겠지만 오대벼는 곡물수확량은 높아질 것으로 예상된다.

따라서 지구온난화로 인한 기후변화가 지속된다면 곡물수확량을 고려한 품종에 따른 벼 재배적지의 선정이 실험적인 자료를 바탕으로 신중히 결정되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 온난화가 진행되면, 우리나라에서 재배되고 있는 주요 벼의 생육과 생산량이 어떻게 변화되는지를 알아보기 위해, 북부지방과 중부지방에 각각 가장 많이 재배되는 오대벼와 새추청벼의 유식물을 각각 대조구, 온도 상승구, CO₂+온도 상승구에서 재배하여 그 결과를 비교하였다.

1) 새추청벼의 지상부생물량, 지하부생물량, 총 생물량, 개체당 이삭무게 그리고 숙성된 낱알 비율은 온도 상승구에서, 오대벼는 CO₂+온도 상승구에서 가장 높았다. 새추청벼와 오대벼의 개체당 이삭수는 환경구배 간 차이가 없었다. 새추청벼의 이삭당 낱알수는 환경구배 간 차이가 없었고, 오대벼의 것은 CO₂+온도 상승구에서 가장 많았다. 새추청벼의 낱알 한 개의 무게는 CO₂+온도 상승구, 오대벼의 것은 온도 상승구와 CO₂+온도 상승구에서 가장 무거웠다. 새추청벼의 분얼수는 대조구와 온도 상승구, 오대벼의 것은 대조구에서 가장 많았다.

2) 새추청벼는 대조구보다 온도만 상승했을 때 잘

자랐고 곡물 생산량이 증가했지만 CO₂ 농도와 온도가 같이 상승했을 때는 차이가 없었다. 그리고 오대벼는 대조구보다 CO₂ 농도와 온도가 같이 상승했을 때 잘 자랐고 생산량이 증가했다.

3) 앞으로 지구온난화의 영향으로 CO₂ 농도와 온도가 높아진다면, 새추청벼는 현재와 곡물수확량의 차이는 없겠지만 그에 반해 오대벼는 곡물수확량은 높아질 것이다. 따라서 지구온난화로 인한 기후변화가 지속된다면 곡물수확량을 고려한 종에 따른 벼 재배적지의 선정이 신중히 결정되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 재원으로 지원을 받아 수행된 2012년 국가장기생태 연구사업의 연구결과입니다.

References

- Baker, JT, Allen jr, LH and Boote, KJ (1992). Temperature effects on rice at elevated CO₂ concentration, *J. of Experimental Botany*, 43(7), pp. 959-964.
- Cho, KT, Kim, HR, Jeong, HM and You, YH (2013). Effects of elevated CO₂ and temperature on the leaf morphological responses of *Quercus serrata* and *Quercus aliena*, potential natural vegetation of riverine, *J. of Wetlands Research*, 15(2), pp. 171-177. [Korean Literature]
- Choi, HC, Kim, YG, Hong, HC, Moon, HP, Ahn, SN, Hwang, HG, Song, MT, Yang, SJ, Kim, HY, Han, SS, Cho, SY, Park, RK and Chung, MN (2000). A new high-quality and blast-resistant multiline of rice "Saechucheongbyeon", *Treatises of Crop Research*, 1, pp. 49-57. [Korean Literature]
- Fan, G, Cai, Q, Li, X, Xie, H and Zhu, J (2010). Yield components and its conformation responded to elevated atmospheric CO₂ in three rice (*Oryza sativa* L.) generations, *African J. of Biotechnology*, 9(14), pp. 2118-2124.
- Fischer, G, Van Velthuisen, H, Shah M and Nachtergale, F (2002). Global agro-ecological assessment for agriculture in the 21st century: Methodology and results, *Research Report-International Institute For Applied Systems Analysis IIASA RR*, 2, pp. 1-199.
- Han, SJ, Kim, HJ and You, YH (2009). Selection on tolerant oak species to water flooding for flood plain restoration, *J. of Wetlands Research*, 11(2), pp. 1-7. [Korean Literature]
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution Working Group III to The Fourth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University press, Cambridge, New York, U.S.A.
- Jagadish, SVK, Craufurd, PQ and Wheeler, TR (2007). High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.), *J. of Experimental Botany*, 58(7), pp. 1627-1635.
- Kim, JH (2012). *Global Warming through The Eyes of a Biologist*, Seoul University Press. [Korean Literature]
- Kobayashi, N (2006). *Global Warming and Forest Business*, Bomundang. [Korean Literature]
- Korea Meteorological Administration (2010). *Report of Global Atmosphere Watch 2010*, Climate Change Information Center. [Korean Literature]
- Lee, AS, Kim, JR, Cho, YS, Kim, YB, Ham, JK, Sa JG and Shin, JC (2011). Analyzing the effect of climatic variables on growth and yield of rice in Chuncheon region, *Korean J. of Crop Science*, 56(2), pp. 99-106. [Korean Literature]
- Lee, JH, Park, DS, Kwak, DY, Yeo, US, Song, YC, Kim, CS, Jeon, MG, Oh, BG, Shin, MS And Kim, JK (2008). Yield and grain quality of early maturing rice cultivars as affected by early transplanting in Yeongnam plain area, *Korean J. of Crop Science*, 53(3), pp. 326-332. [Korean Literature]
- Lee, JT, Shim, KM, Bang, HS, Kim, MH, Kang, KK, Na, YE, Han MS and Lee, DB (2010). An analysis of changes in rice growth and growth period using climatic tables of 1960s (1931-1960) and 2000s (1971-2000), *Korean Society of Soil Science and Fertilizer*, 43(6), pp. 1018-1023. [Korean Literature]
- Lee, MS (2010). *Effect of elevating CO₂ and air temperature on productivity and quality in rice (Oryza sativa L.)*, Master's Thesis, Chonnam National University, Gwangju, Korea. [Korean Literature]

- Lee, SH, Heo, IH, Lee, KM, Kim, SY, Lee YS and Kwon, WT (2008). Impacts of climate change on phenology and growth of crops: In the case of Naju, *J. of the Korean Geographical Society*, 43(1), pp. 20-35. [Korean Literature]
- Lee, YS and Lee, SH (2008). The impacts of climate change on rice yield, *The geographical J. of Korea*, 42(3), pp. 405-416. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (2012). *2012 White Paper of Environment*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- National Academy of Agricultural Science (2008). *The Research to Improve of Quality using Analysis of Metabolic Mechanism and to see Physiological Responses on Change of Climate and Cultivated Environment in Crops*, RIMS Code, National Academy of Agricultural Science. [Korean Literature]
- No, HJ and Jeong, HY (2002). *Well-Defined Statistical Analysis according to Statistica*, Hyeongseol Publisher. [Korean Literature]
- Park, HK, Xu, M, Lee, KB, Choi, WY, Kim, SS and Kim, CK (2006). Comparison of rice growth under subtropical and temperate environments. *Korean J. of Agricultural and Forest Meteorology*, 8(2), pp. 45-53. [Korean Literature]
- Suzuki, M (1980). Studies on distinctive patterns of matter production in the building process of grain yields in the warm region in Japan, *Kyushu National Agricultural Experiment Station*, 20(4), pp. 429-494.
- Thang, V (2008). *Growth, yield and resource use efficiency of rice (*Oryza sativa* L.) under simulated global warming with elevated atmospheric CO₂*, Ph.D Dissertation, Chonnam National University, Gwangju, Korea. [Korean Literature]
- Xiao, G, Liu, W, Xu, Q, Sun, Z and Wang, J (2005). Effects of temperature increase and elevated CO₂ concentration, with supplemental irrigation, on the yield of rain-fed spring wheat in a semiarid region of China, *Agricultural Water Management*, 74(3), pp. 243-255.
- Yamamoto, Y, Yoshida, T, Enomoto, T and Yoshikawa, G (1991). Characteristics for efficiency of spikelet production and the ripening in high yielding japonica-indica hybrid and semidwarf indica rice varieties, *Japan J. of Crop Science*, 60, pp. 365-372.
- Yang, L, Huang, J, Yang, H, Dong, G, Liu, G, Zhu, J and Wang, Y (2006). Seasonal changes in the effects of free-air CO₂ enrichment (FACE) on dry matter production and distribution of rice, *Field Crops Research*, 98(1), pp. 12-19.
- Yang, L, Wang, Y, Dong, G, Gu, H, Huang, J, Zhu, J, Yang, H, Liu, G and Han, Y (2007). The impact of free-air CO₂ enrichment (FACE) and nitrogen supply on grain quality of rice, *Field Crops Research*, 102(2), pp. 128-140.
- Yun, JI (1990). Analysis of the climatic impact on Korean rice production under the Carbon dioxide scenario, *J. of the Korean Meteorological Society*, 26(4), pp. 263-274. [Korean Literature]
- Yun, SH, Im, JN, Lee, JT, Shim, KM and Hwang, KH (2001). Climate change and coping with vulnerability of agricultural productivity, *Korean J. of Agricultural and Forest Meteorology*, 3(4), pp. 220-227. [Korean Literature]
- 논문접수일 : 2014년 06월 26일
○ 심사의뢰일 : 2014년 07월 02일
○ 심사완료일 : 2014년 08월 05일