

수도의 질소반응에 미치는 고CO₂농도 및 온도의 영향

金漢龍

科學技術振興事業團

Effects of Elevated CO₂ and Temperature on Nitrogen Responses in Rice

Han Yong Kim

Japan Science and Technology Corporation, Morioka 020-0123, Japan

ABSTRACT

Effects of elevated CO₂ and temperature on nitrogen (N) uptake, leaf N concentration, N partitioning, N use efficiency (NUE) and grain yield of pot and field grown rice (*Oryza sativa*. L. cv. Chukwangbyeon) under canopy-like conditions were studied over three years. Rice plants were grown in pots and in the field in temperature gradient chambers containing either ambient ($\cong 350$ ppm) or elevated CO₂ concentrations (690 or 650ppm) in combination with either four or seven temperature regimes ranging from ambient temperature (AT) to AT plus 3°C. There were three N supplies (4g or 6g m⁻² to 20g or 48g m⁻²). Elevated CO₂ increased N uptake in field-grown rice; the magnitude of this effect was the largest (+15%) at the highest N level. However, in pot-grown rice, N uptake was suppressed with the effect being large at high N levels. Leaf N concentration declined at elevated CO₂, mainly due to a decrease in N partitioning to the leaf blades. Air temperature had little effect on the N parameters mentioned previously, whereas NUE for spikelet production declined rapidly with increased temperature irrespective of CO₂ concentration. The response of the biomass to elevated CO₂ varied with N level, with the greatest response at 20g N m⁻² (+30%). At AT, where high temperature-induced sterility was generally not observed, elevated CO₂ increased yield. However, the magnitude of this effect varied greatly (2-39%) with N level, and was mainly dependent on the magnitude of the increase in spikelet number.

Key words: elevated CO₂, nitrogen, rice, temperature

서 언

수도 다수확의 실현에는 충분한 물질생산과 이를 수량으로 저장하는 영화의 수를 확보하는 것이 무엇보다 중요하며, 이에 질소(N) 요인이 크게 관여한다. 수도의 물질생산에 대한 고CO₂농도의 효과에 관하여, 今井와 村田(1978)는 풍부한 N조건하에서 그 효과가 크다고 한 반면 Allen 등(1991)은 N무시용의 경우에 크다고 하였다. 이와 같은 상반된 결과는 고CO₂농도하에서의 수도 물질생산에 대한 N반응이 고CO₂농도의 처리기간, 시비방법, 기온 및 광조건 등의 재배환경에 크게 좌우된다는 것을 시사한다. 단위면

적당의 영화수는 유수형성기 또는 출수기의 물질생산량이나 穂首분화기경의 稻 N함량과 밀접한 관계에 있으며 (Kobayashi 등, 1994; Ishikawa 등, 1993), 고CO₂농도는 穂數의 증대를 통하여 영화수를 증가시킨다 (Kim 등, 1996b).

한편, 수도의 물질 및 영화생산의 N반응에 미치는 CO₂ × 온도의 복합적 영향에 관한 연구는 찾아볼 수 없는 실정이며, 이에 관한 기초적, 응용적 연구가 절실히 요구되고 있다. 이러한 연구는 가까운 장래로 예측되고 있는 지구환경변화(고CO₂농도환경)를 작물의 생산성 향상에 적극적으로 이용하기 위한 기술개발에 필요한 정보를 제공한다는 측면에서 중요한 의미를 갖는다.

본 연구에서는 Horie 등(1995)의 온도구배형 CO₂처리시설(TGC)을 이용하여, CO₂농도 및 온도가 수도의 N흡수, 엽신의 N농도와 N분배, 물질생산, 영화생산 및 수량에 미치는 영향에 관하여 검토, 고찰하였다.

재료 및 방법

실험은 전보(金과 堀江, 1998)와 동일한 추광벼와 2동의 온도구배형 CO₂처리시설(TGC)를 이용하여 1991년~1993년의 3작기에 걸쳐 실시하였다. 자연CO₂(≒ 350ppm)TGC 및 고CO₂(1991년, 1992년: 690ppm, 1993년: 650ppm)TGC내에 소N, 표준N 및 다N의 3N구를 설정하였으며, 각 N구의 면적은 1~1.2m²로 하였다. 단, 1993년에는 표준N구만 설정하였고, N비료는 공통적으로 유안을 사용하였다. 각N구의 시비량 및 방법은 표1에 나타난 바와 같다. TGC내의 온도설정방법과 이식으로부터 성숙기까지의 기타 재배조건, 방법 및 관리는 전보와 동일하였으며, 이하에서는 조사 및 분석방법에 대하여 기술코자한다.

3작기 공통적으로 표준N구에 대하여는 유수분화기 ~ 성숙기까지 3~5회에 걸쳐 각 CO₂농도 및 온도구마다 3~8株를 뿌리채 발취하여, 常法에 따라 엽면적, 器官별 건물수량, 자실수량 및 그 구성요소 등을 조사하였다. 소 및 다N구의 경우 1991년에는 성숙기에, 1992년에는 출수기와 성숙기에 각각 표준N구와 同數의 株를 대상으로 동일한 조사를 실시하였다. 건물중을 측정된 후 기관별로 분쇄(Fritsch, 로스 스피드 밀 P-14, 網의 크기: 0.5mm)하여 N정량의 시료로 이용하였다. N정량에는 Micro-kjeldahl법과 근적외선분석

계(BRAN+LUBBE社, Infra Analyzer 500)를 병용하였다. N농도와 건물중의 측정치로부터 각 기관별 N합량 및 稈의 N흡수량을 구한 후 단위면적당으로 환산하여 결과해석에 이용하였다.

결과 및 고찰

N의 흡수, 분배 및 이용

수도의 N흡수, 분배와 물질생산면에서 본 N의 이용효율에 대한 CO₂농도 및 온도의 영향에 관하여 검토한 결과, 본 실험의 온도범위(27.6~31°C; 1991년, 26~29°C; 1992년)에서는 이들에 대한 온도의 영향이 인정되지 않았다. 따라서 그림1에는 고CO₂농도처리에 의한 이들의 増減정도(고CO₂농도구에 대한 자연CO₂농도구의 比)를 전온도구의 평균치로 나타내었다. 성숙기의 최종 N흡수량에 대한 고CO₂농도의 영향은 재배조건에 따라 다른 반응을 보였다. 포장조건 하에서 재배한 수도(그림1.b)에서는 시비량이 많을수록 고CO₂농도에 의한 N흡수의 촉진율이 높아져 다N구에서 15%의 촉진율을 보였다. 이에 반하여, 포트 재배실험(그림1.a)에서 시비량에 관계없이 고CO₂농도처리에 의해 N의 흡수가 저하되었으며, 그 저하정도는 다N구에서 15%로 가장 컸다. 고CO₂농도는 수도의 뿌리생장을 크게 촉진하나, 이때 포트에 의한 근권의 물리적 제약은 뿌리의 양적생장에 거의 영향하지 않는다(Kim 등, 1996a)는 것으로 미루어 포트재배에 있어서 고CO₂농도의 N흡수 억제현상은 뿌리의 양분흡수기능의 저하에 기인하는 것으로 생각된다. 이와 같은 뿌리의 양분흡수기능저하를 근권의 화학적 환경에 착안하여 고찰해 보면, 단위면적당 근량

Table 1. Fertilizer application(gm²) for the experiments.

Year	Level	Basal dressing			Top dressing			Total		
		N	P.O.	K.O	N	P.O.	K.O	N	P.O.	K.O
1991	Low	2(0.1)*	24(1.2)	24(1.2)	4(0.2)	0	0	6(0.3)	24(1.2)	24(1.2)
	Inter.	14(0.7)	24(1.2)	24(1.2)	10(0.5)	0	0	24(1.2)	24(1.2)	24(1.2)
	High	28(1.4)	24(1.2)	24(1.2)	20(1.0)	0	0	48(2.4)	24(1.2)	24(1.2)
1992	Low	3	15	10.8	1	0	3.6	4	15	14.4
	Inter	9	15	10.8	3	0	3.6	12	15	14.4
	High	15	15	10.8	5	0	3.6	20	15	14.4
1993	Inter.	6	15	9	3(3)*	0	6	12	15	15

*indicates application amount per pot in 1991. The rice in 1991 was grown in pots placed at even distances to form a canopy and that in 1992 and 1993 under field-like conditions in the TGC.

**indicates the 2nd topdressing.

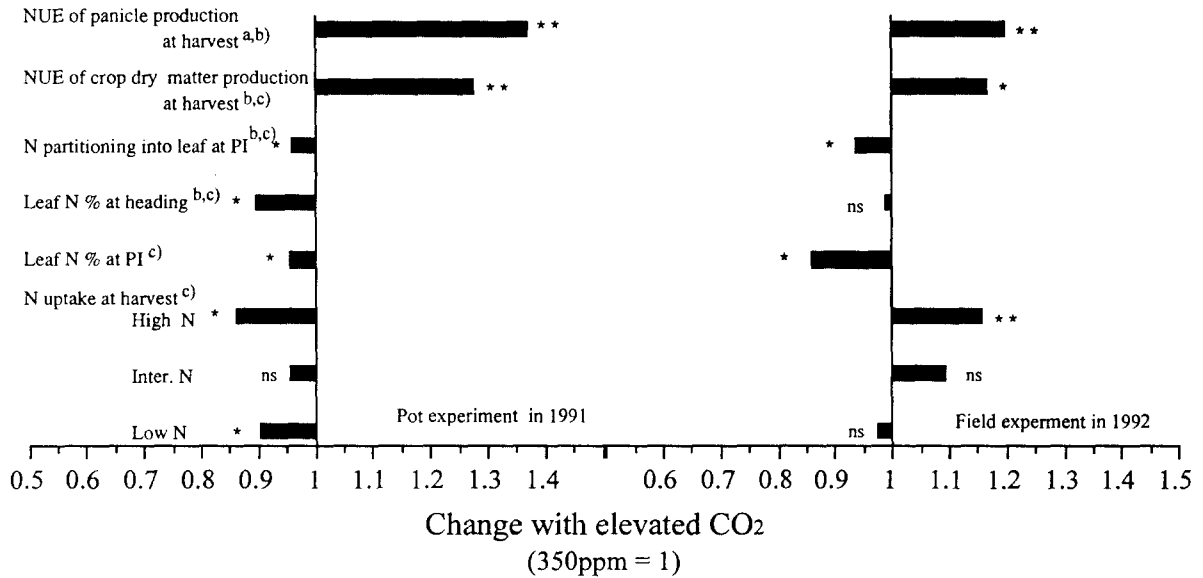


Fig.1. Effects of elevated CO₂(690ppm vs 350ppm ambient) on nitrogen(N) uptake, leaf N concentration and partitioning and N use efficiency (NUE) in rice (values relative to ambient CO₂)

** and * indicate statistically significance at 1% and 5% level, respectively.

PI:Panicle initiation, a:Ambient temperature, b:Intermediate N application, c:Average of all temperatures

또는 근중의 증가는 이에 상당한 생장·유지호흡을 동반하게 되며, 이때 생성·방출되는 CO₂에 의해 근권의 화학적 환경이 변화될 수 있다. 따라서 고CO₂농도하에서 뿌리의 활발한 양적생장은, 포트조건에서는 뿌리의 과번무와 근권의 화학적 환경의 변화를 초래하여 오히려 뿌리자체의 양분흡수기능을 저하시키는 것으로 사료된다.

한편, 유수분화기 및 출수기의 엽신N농도는 재배 조건에 관계없이 고CO₂농도처리에 의해 저하하였다. 고CO₂농도는 유수분화기경의 엽면적의 확대생장을 촉진하나(Kim 등, 1996a), 엽신의 N 농도저하는 엽면적의 확대로 인한 N의 희석때문이라기보다는 엽신에의 N분배가 감소하기 때문이었다. 유수분화기에 있어서 엽신에의 N분배는 고CO₂농도처리에 의해 5~7% 저하하였다. 흡수한 gN당 물질생산량과 수량(穗重)으로 본 질소이용효율(NUE)은 고CO₂농도하에서 각각 15~25%와 20~35% 향상되었다.

영화생산 및 수량

포장근락상태로 재배한 수도의 단위면적당 영화수와 출수기의 물질생산량과의 관계를 그림2에 나타

내었다. 출수기의 물질생산량과 영화수 간에 밀접한 상관관계가 인정되어 N의 시비량에 관계없이 물질생산량이 많을수록 영화수가 증가하였고 고CO₂농도는 물질생산을 촉진하여 영화수를 증가시키는 경향이였다. 한편, 이 값으로부터 출수기까지에 흡수한 gN당의 영화수(영화생산효율)와 동기간의 평균기온 및 CO₂농도와와의 관계를 보면, 영화생산효율은 고CO₂농도하에서 약간 증가하였으나 CO₂농도와 관계없이 온도상승에 따라 직선적으로 감소하였다(그림 3). 이와 같은 영화생산효율의 온도반응은 출수의 온도반응과 밀접한 관계에 있는 것으로 생각된다. 수도의 출수는 품종의 감온성 정도에 따라 다소 차이는 있겠으나 일반적으로 고온조건에서 빨라진다(Kim 등, 1996a). 즉, 고온은 수도의 Phenological발육을 촉진(Kim 등, 1996a)하지만 이는 한편으로 영양생장기간의 단축을 의미하며, 이로 인하여 유수 또는 영화의 발육이 불충분한 채로 출수할 경우 수당영화수가 감소하거나 퇴화영화수가 증가할 수 있기 때문이다. 또한 고온에 의한 영양생장기간의 단축은 동기간중의 적산흡수일사량의 감소와 이에 따른 물질생산의 저하를 통하여 영화수에 영향을 주는 것으로 생각된다.

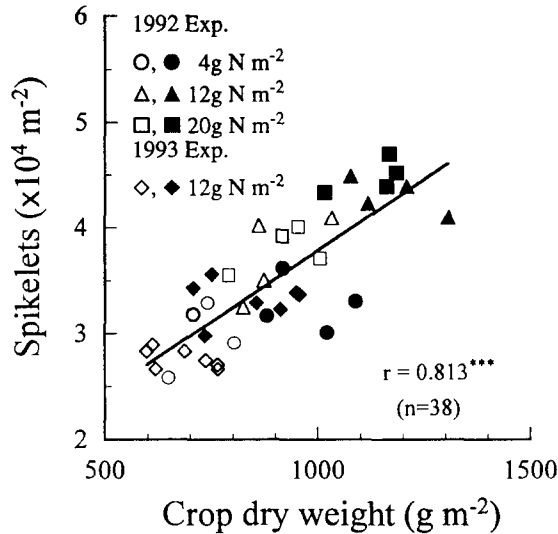


Fig.2. Relationship between spikelet number and crop dry weight at heading in rice grown under ambient (350ppm, open symbols) and elevated CO₂ (650and/or 690ppm, closed symbols) at different N levels. ***indicates statistically significance at 0.1% level.

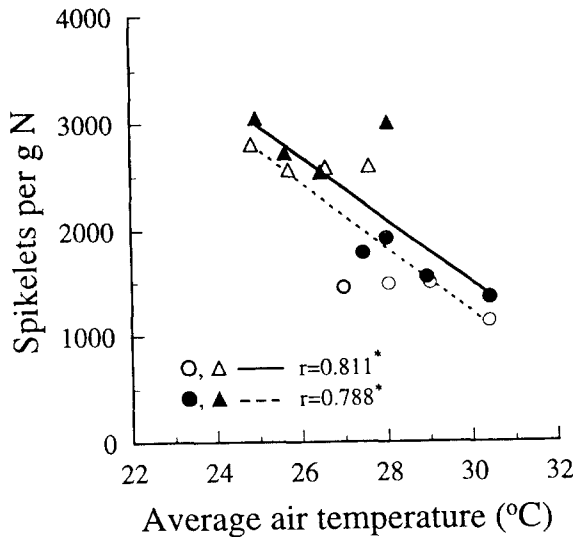


Fig.3. Effect of air temperature on spikelet production per g N in rice grown under ambient(350ppm, open symbols) and elevated CO₂(690ppm, closed symbols) in the 1991(O, ●) and 1992(Δ, ▲) experiments *indicates statistically significance at 5% level.

현행기온조건(26°C; 1992년, 27.6°C; 1991년)하에서 생육한 수도의 최종건물수량, 영화수 및 자실수량에

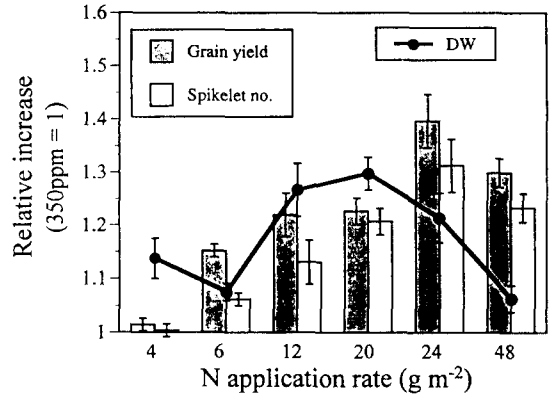


Fig.4. Relative increase by elevated CO₂(690ppm) in final crop dry weight(DW), spikelet number and grain yield of rice as a function of N application rate in the 1991 and 1992 experiments. Vertical bar indicates standard error.

대한 고CO₂농도효과의 N반응은 그림 4와 같다. 고 CO₂농도처리에 의한 건물수량의 증가율은 m²당 20g의 N시용구에서 약 30%로 가장 높았으며, 그 이상 및 이하의 시용구에서는 시비량의 증감에 따라 각각 저하하는 경향이였다. 고CO₂농도의 영화수 증대효과는 N의 증비에 따라 거의 직선적으로 증가하였으나 m²당 24g시용구를 최대(약 30%)로 하여 그 이상의 시용구에서는 약간 저하하였다. 고CO₂농도처리에 의한 증수효과의 N반응은 영화수의 N반응과 거의 유사한 경향이였다. 이는 고CO₂농도환경하에서의 수도 증수정도는 영화수의 증대정도에 크게 지배된다는 것을 시사하며, 가까운 장래로 예측되고 있는 고CO₂농도환경을 수도의 증수에 잘 이용하기 위해서는 단위면적당 영화수 확보에 중점을 둔 시비체계의 확립이 필요할 것으로 생각된다.

적 요

대기중의 CO₂농도상승과 이에 따라 예측되고 있는 환경변화가 수도생산에 미치게 될 영향을 파악하고자 온도구배형CO₂처리시설(TGC)을 이용하여 수도의 N반응에 대한 고CO₂농도 및 온도의 영향을 검토하였던 바 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 포장조건에서 생육한 수도의 N흡수는 고CO₂농도처리에 의해 촉진되는 경향이었고 그 촉진 정도는 시비량이 많을수록 컸으나, 포트에서

생육한 경우에는 이와 반대의 반응을 보였다. N의 흡수에 대한 온도의 영향은 인정되지 않았다.

2. 유수분화기 및 출수기의 엽신 N농도는 고CO₂ 농도구에서 저하하였으며, 이는 엽신에의 N분배의 감소에 기인하였다.
3. 고CO₂농도의 최종 건물수량 증대효과는 m²당 20g의 N시용구에서 30%로 가장 높았으며, 그 이상과 이하의 시용구에서는 각각 시비량의 증감에 따라 낮아지는 경향이였다.
4. 고CO₂농도의 영화수 증대효과는 N의 증비에 따라 높아졌으나, 영화생산효율은 CO₂농도에 관계없이 생육온도의 상승에 따라 직선적으로 저하하였다.
5. 현행기온조건(26~27.6°C)하에서 수량에 대한 고CO₂농도의 증수효과는 최소의 경우 2%, 최대의 경우 39%로 N의 시비량에 따라 크게 달랐으며, 주로 영화수의 증대정도에 크게 지배되었다.

인 용 문 헌

- Allen, L.H. Jr., K.J. Boote, J.W. Jones, J.T. Baker, S.L. Albrecht, R.S. Wasschman and F. Kamuru. 1991. Carbon dioxide effects on growth, photosynthesis and evapotranspiration of rice at three nitrogen fertilizer levels. 1990 Progress report of response of vegetation to carbon dioxide, No. 62. Plant stress and protection research unit USDA-ARS, Univ. of Florida, Gainesville, pp1-158
- Horie, T., H. Nakagawa, J. Nakano, K. Hamotani and H.Y. Kim. 1995. Temperature gradient chamber for research on global environment change. III. A system designed for rice in Kyoto, Japan. *Plant Cell Environ.* 18:1055-1063.
- Imai, K. and Y. Murata. 1978. Effect of carbon dioxide concentration on growth and dry matter production of crop plants. III. Relationship between CO₂ concentration and nitrogen nutrition in some C₃- and C₄-species. *Jpn. J. Crop Sci.* 47:118-123.
- Ishikawa, T., S. Akita and Q. Li. 1993. Relationship between content of nonstructural carbohydrates before panicle initiation stage and grain yield in rice. *Jpn. J. Crop Sci.* 62:130-131.
- Kim, H.Y., T. Horie, H. Nakagawa and K. Wada. 1996a. Effects of elevated CO₂ concentration and high temperature on growth and yield of rice. I. The effect on development, dry matter production and some growth characteristics. *Jpn. J. Crop Sci.* 65:634-643.
- Kim, H.Y., T. Horie, H. Nakagawa and K. Wada. 1996b. Effects of elevated CO₂ concentration and high temperature on growth and yield of rice. II. The effect on yield and its components of Akihikari rice. *Jpn. J. Crop Sci.* 65:644-651.
- 金漢龍, 堀江武. 1998. CO₂ 농도의 상승과 온난화 환경이 수도의 생장, 물질생산 및 그 분배에 미치는 영향. *한자식지* 11(1):80-85.
- Kobayashi, K. and T. Horie. 1994. The effect of nitrogen condition during reproductive stage on the differentiation of spikelets and rachis-branches in rice. *Jpn. J. Crop Sci.* 63:193-199.