

벼성장 시뮬레이션 모델을 이용한 2 x CO₂ 기후변화의 영향조사

Impact Analysis on 2 x CO₂ Climate Change Using a Rice Growing Simulation Model

오 성 남* · 장 광 미

한국과학기술연구원
시스템공학연구소

1. 서론

대기중에 이산화탄산가스의 양이 현재농도에 비하여 2배가 되었을때 상승되는 지구대기의 온난화 현상은 해수면 상승에 의한 지구의 인간 생활 면적 축소와 동,식물의 생태계 변화를 초래한다고 본다.

기후의 역사적 기록 (paleoclimatic records)으로 추정하건데 50-100 ppm의 CO₂ 량의 변화가 4-5 °C 지구 기온 상승효과를 보였다(Hansen et al., 1986). Rind et al.(1988)은 기후모델을 이용한 대류권 및 성층권내의 CO₂ 량 증가로 인한 저위도 지방의 강수 증가와 고위도 지방의 강수감소 효과를 보인바 있다. Parry 와 Carter (1988) 는 이러한 기후변화에 대한 농업생산량의 변화를 강수와 기온변화에 대한 함수로 장기 (long-term) 및 단기 (short-term)에 걸쳐 예측한 바 있고 Horie(1988) 는 기후변화에 대한 북해도 지역의 밀과 보리의 생산량 감소를 예측한바 있다. 그러나 이들의 결과가 통계적 작물모델에서 비롯되었기 때문에 그 적용대상지역과 품종선택에 대한 제약으로 작물의 생산량의 결과에만 분석되었다. 1987년 Eddy(1987) 와 Cooter(1987)은 미국의 Mississippi 강 유역의 기후를 CO₂변화에 적용시켜 밀과 옥수수의 컴퓨터 Process 모델을 이용한 작물의 성장 및 생산량을 조사한 바 있다.

본 연구에서는 이러한 2 x CO₂ 기후에 의한 지구온실효과 상승 작용이 벼 작물의 성장에 미치는 영향을 시뮬레이션 하므로써 미래에 발생할 수 있는 기후 및 환경변화에 대한 지구 생태계변화의 예측 기술을 개발하고 그 결과를 산출하는데 있다.

본 연구에서 사용된 RICEMOD-300 벼성장 시뮬레이션 모델 Fig.1 은 1983년 국제벼연구소(IRRI)와 Texas A & M 대학교의 Black land 의 연구소에서 공동으로 개발한 벼 생육과정을 컴퓨터로 계산 할수 있는 dynamic process 모델이다 (Oh, 1988).

매일의 농작물 생육과정을 시뮬레이션 할 수 있는 컴퓨터 모델은 미국의 농무성(USDA) 과 환경처(EPA) 지원하에 Michigan, Hawaii, Florida 대학교 등에서 밀, 옥수수, 완두콩 등에 대하여 시작되었다. 이들 모델의 궁극적 개발 목적은 (1)지구기후변화에 의한 식물생태계 영향을 기상요소변화량으로 시뮬레이션하고, (2) 산성우, pesticide 등에 의한 토양 오염의 식물생태계에 의한 영향을 컴퓨터로 파악하고 (3) 추곡수매, 곡물수출, 농지활용, 품종결정 등 농업경제 전략을 위한 decision making 을 위한 기본자료 등을 마련하기 위한 것이다.

2. 자료 및 연구방법

본 연구의 대상지역은 벼작물의 품종별 생육자료와 생산량 통계기록, 토양물리자료 등의 구입이 충분하다고 인정되는 미국의 Mississippi강 유역의 upland 벼논지역과 경기도 수원지방의 벼논을 upland 라 가정하여 적용하였다.

적용된 벼 품종은 인디카 종으로 미국의 Arkansas 주에서 재배되고 있는 Starbonnet 과 Texas 남부의 Nato에 대한 벼생육(University of Arkansas,1983) 을 이용하였고 아울러 필리핀 국제벼 연구소 (IRRI,1984) 에서 개발된 IR36과 수원의 상풍벼 등을 이용하였다.

토양의 입력자료로서 IRRI의 토양분석 실험에서 구하여진 토양의 수분전달도 (hydraulic conductivity) 자료를 이용하였고 모델의 기상입력 변수로서 작물의 생육기간동안 관측된 기온, 습도, 강수량, 증발량, 일사, 기압, 일조량 등은 미국 농무성(USDA)의 1975년 부터 1984년 동안의 일별 기록치를 사용하였다.

2 x CO₂ 기후요소는 Goddard Institute for Space Studies(GISS) 에서 Hansen et al (1986) 의 대기대순환 모델 (General Circulation Model : GCM)의 지상 grid box 1710(85 °W-95 °W, 31.3 °N-39.1 °N) 지역과 1610 (95 °W - 105 °W, 23.5 °N - 31.1 °N) 지역의 기온 및 강수량의 4계절에 대한 2 x CO₂ 기후 시나리오를 Fig.2 - 5 와 같이 내삽하여 벼 생육기간동안의 자료로 이용하였다. 또 벼논의 수분공급을 위하여 3등급의 관계수 공급을 비관계수 (W₀), 소량 관계수 (W₁), 대량관계수(W₂)로 구별하여 각각 적용하였다.

3. 결과 및 결론

벼 생육기간동안의 이들지역의 2 x CO₂ 기후에 대한 GISS 기후모델의 결과는 기온과 강수에 대하여 모두 상승효과를 보였고 이들 자료에 의한 대상지역의 벼 생육기간내의 벼논에 대한 수분증발(evapotranspiration) 도 Fig.6과 같이 증가를 보였다.

벼의 성장과 생산은 Table 1과 같이 2 x CO₂ 기후의 경우 기본 기후(base climate) 에 대하여 각 관계수 등급 모두의 경우에 증가현상을 보였다. 이것은 2 x CO₂ 기후가 기온 및 강수량 증가로 인한 벼논의 증발산이 높아져 작물의 생육 성장기능이 보다 원활(dynamic)하였기 때문으로 해석된다. 한편 Table 2의

결과에서 2 x CO₂ 기후와 기본기후의 벼 생산량 차이는 관계수를 공급하였을 때 보다 비관계수적용에서 보다 높은 차이를 보였고 2 x CO₂ 기후조건에서 고위도 벼논 지역에서 높은 벼 생산량 증가를 보였다. 그 이유는 저위도 지역의 높은 기온에 첨가된 2 x CO₂ 기온상승은 오히려 벼 성장의 저해요인으로 해석되기 때문이다.

관계수 공급 변화에 대한 이들 2개의 기후조건은 Fig.7,8 과 같이 30% 와 20% 수분증가때에 벼 생산의 최대치를 각각 보였다. 이들 결과에서 2 x CO₂ 기후에서는 기본기후 경우보다 낮은 관계수 적용에 대하여 오히려 높은 생산량을 보였으나 관계수 공급시 그 수분의 변화량에 대한 이들 기후의 생산량 차이는 나타내지 못하였다. 그 이유는 2 x CO₂ 기후의 식물 성장에 대한 생육순환과정이 수분공급이 충분할때 그 양에 관계없이 활발한 것으로 판단되기 때문이다. 따라서 대기중에 CO₂ 양이 많아지고 이로 인한 대기 온난화 증가 현상은 CO₂ 가 2배가 될때까지 벼논의 생산량은 증가하는 것으로 나타났으나 그 이상의 CO₂ 증가가 발생 할때 오히려 감소 할 것으로 추정된다.

Reference

1. Cooter, E.J., 1987: The impact of climate change on corn production in the southern U.S. Oklahoma Climatological Survey, Norman, OK., 58pp.
2. Eddy, A., 1987: A computer modeling assessment of climate change impacts on food, water, soil, and pesticides. Oklahoma Climatological Survey, Norman, OK, 50pp
3. Hansen, J., G. Russell, D. Rind, P. Stone, A. Lacis, S. Lebedeff, R. Ruedy and L. Travis, 1983: Efficient three-dimensional global models for climate studies. Models I and II. Mon. Wea. Rev., 111, 4, 609-662.
4. Horie, T., 1988: The effects on rice yields on Hokkaido. The impact of climatic variations on agriculture. 1. Kluwer Academic Publishers, 809-822.
5. IRRI, 1984: Soil and crop management. Soil characterization. Annual Report for 1983, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, 237-241.
6. Oh, Sung Nam, 1988: Simulation of a meteorological and physiological rice yield prediction model. Ph.D. Dissertation, The University of Oklahoma. pp244.
7. Rind, D., R. Suozzo, N. K. Balachandran, A. Lacis, and G. Russel, 1988: The GISS global climate-middle atmosphere model. part I : Model Structure and Climatology. J. Atmos. Sci., 45, 3, 329-351.
8. University of Alkansas, (CIRCA 1983): Rice production. Cooperative Extension Service, Univ. of Arkansas, Division of Agriculture, USDA and County Governments Cooperating, MP 192, 1-48.

Table 1. Percent probability of the favorable rice yield of the base climate and the 2 x CO₂ climate change (1951-1985).

Variety	Rice Area	Base Climate			2 x CO ₂ Climate		
		W ₀	W ₁	W ₂	W ₀	W ₁	W ₂
Starbonnet	Arkansas Ar	0	46	91	34	94	100
Starbonnet	Arkansas Ar	3	37	89	23	86	97
IR36	Jackson Ar	9	40	74	34	89	91
IR36	Jefferson Tx	3	44	94	21	88	94
Nato	Jefferson Tx	3	34	88	21	71	94
Nato	Wharton Tx	3	71	100	32	97	100

Table 2. Yield departure(g/m²) between the base and the double CO₂ climate in the five irrigation treatments(1951-85).

Variety	Rice Area	W ₀	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄
Starbonnet	Arkansas Ar	233	272	119	110	142
Starbonnet	Arkansas Ar	175	313	72	62	55
IR36	Jackson Ar	106	170	43	20	20
IR36	Jefferson Tx	98	131	37	20	19
Nato	Jefferson Tx	146	64	47	47	47
Nato	Wharton Tx	150	168	58	50	50

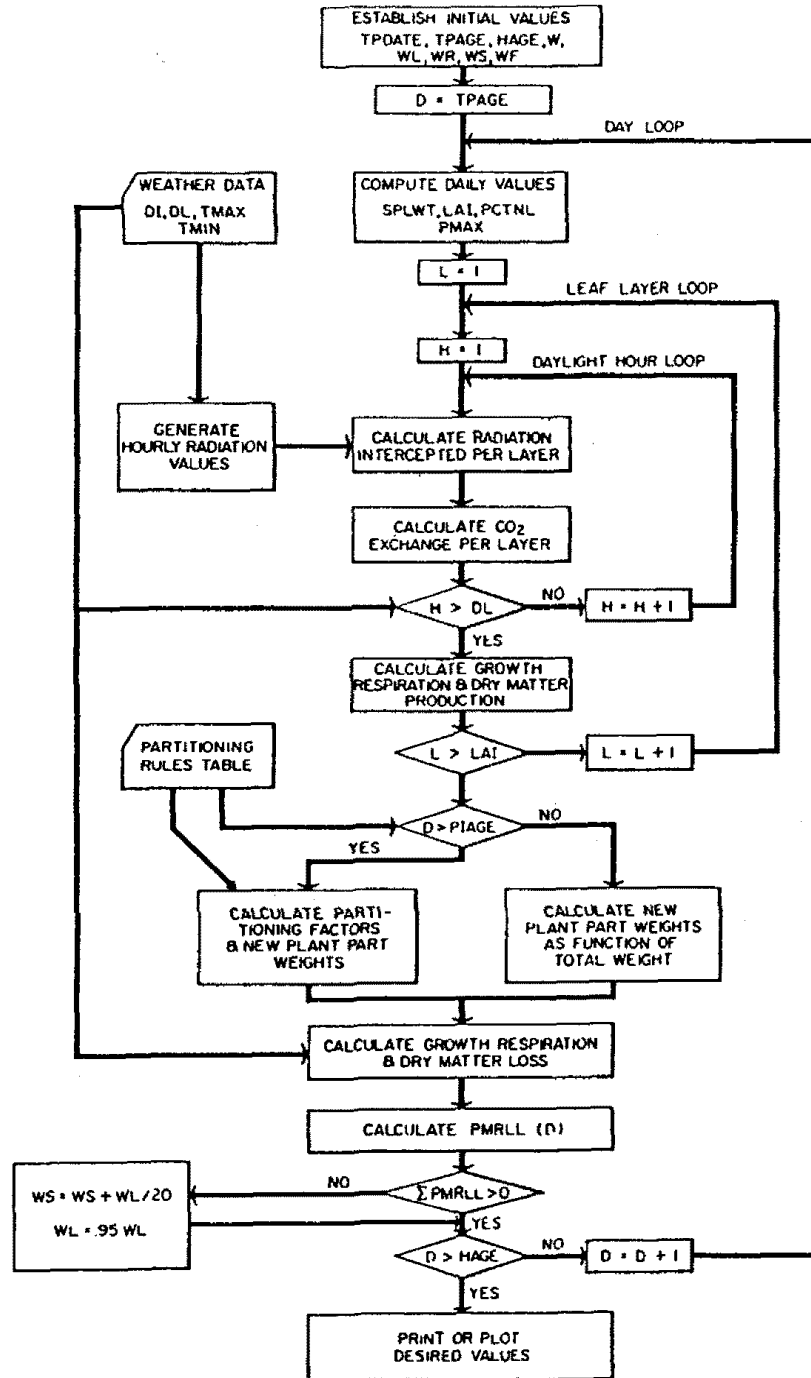


Figure 1 : Schematic of the RICEMOD growth simulator. D = plant population age (d); $DI(D)$ = daily total PAR on day D (cal/cm^2); DL = day length (h); FL, FS; FR, FF = fraction (g/g) of photosynthate partitioned to panicles (F), leaf blades (L), culm and leaf sheath (S), and roots (R); H = hour of the day (H = 0 at sunrise) (h); HAGE = plant age at harvest (d); L = leaf layer (the top layer is layer 1); LAI = leaf area index, m^2/m^2 ; PCTNL = percent nitrogen content of leaves (g/g x 100); PIAGE = plant age (d) at panicle initiation; PMAX = maximum daytime net CO_2 exchange (g/m^2 per h); PMRLL = daily net CO_2 exchange (g/m^2) for lowest leaf layer; PT(D) = total net CO_2 exchange (g/m^2) during daylight hours of day D; SPLWT = specific leaf weight (g/m^2); TMAX = max daily temp ($^\circ\text{C}$); TMIN = min daily temp ($^\circ\text{C}$); TPAGE = age (d) of plants at transplanting; TPDATE = transplanting date; W = total wt of plant population (g/m^2); WF, WL, WR, WS = dry wt (g/m^2) of panicle, leaf blades, roots, and leaf sheath and culm (McMennamy and O'Toole, 1983)

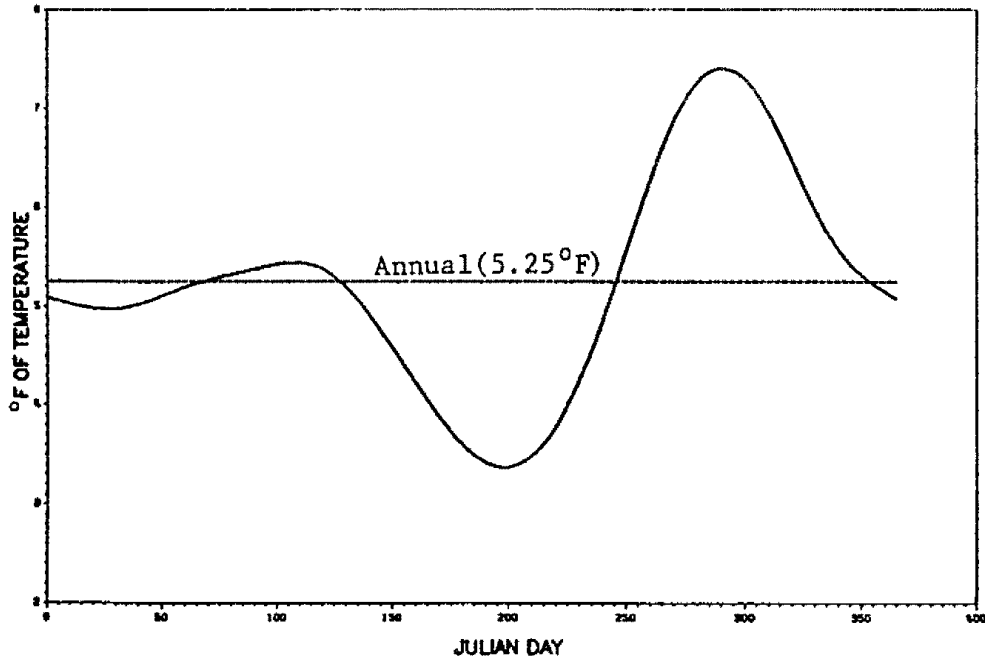


Figure 2 : GISS 2 x CO₂ climate change increment information of temperature with interpolated daily values for the grid box 1710.

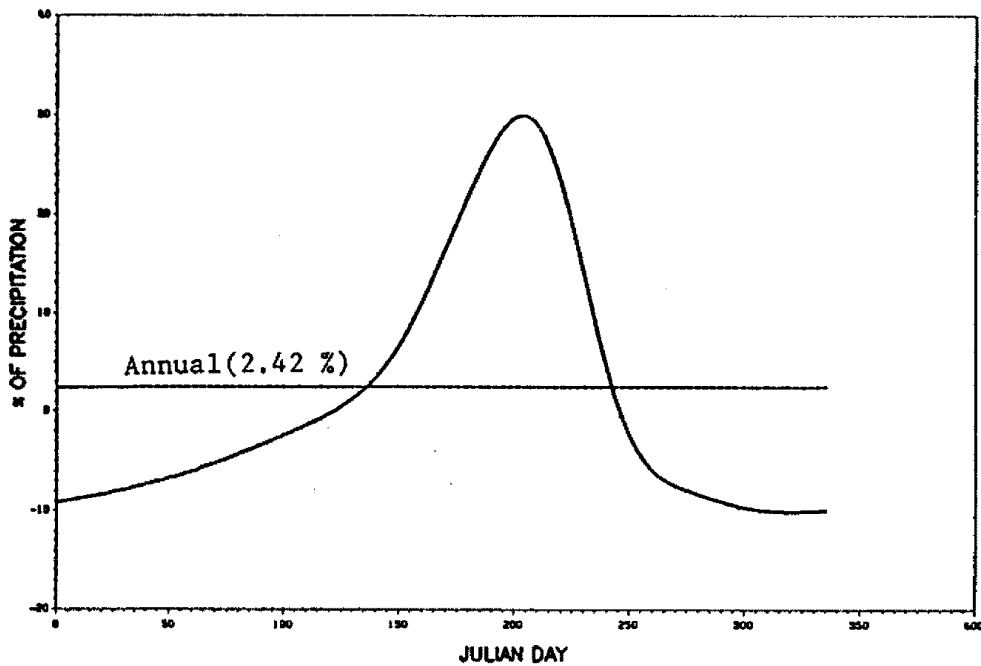


Figure 3 : GISS 2 x CO₂ climate change increment information of precipitation with interpolated daily values for the grid box 1710.

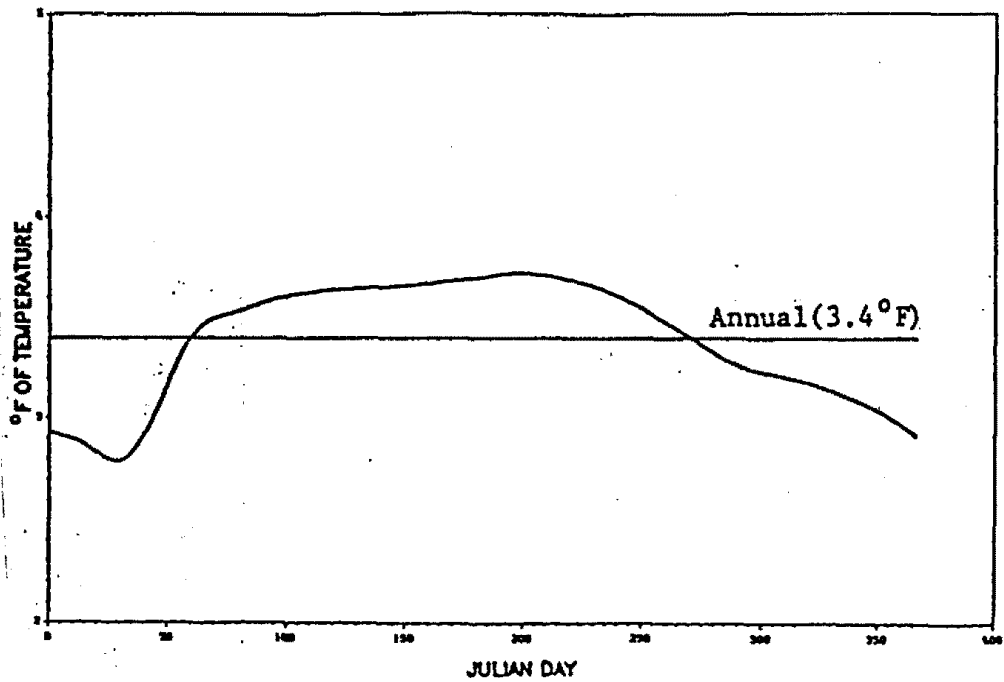


Figure 4 : GISS 2 x CO₂ climate change increment information of temperature with interpolated daily values for the grid box 1610.

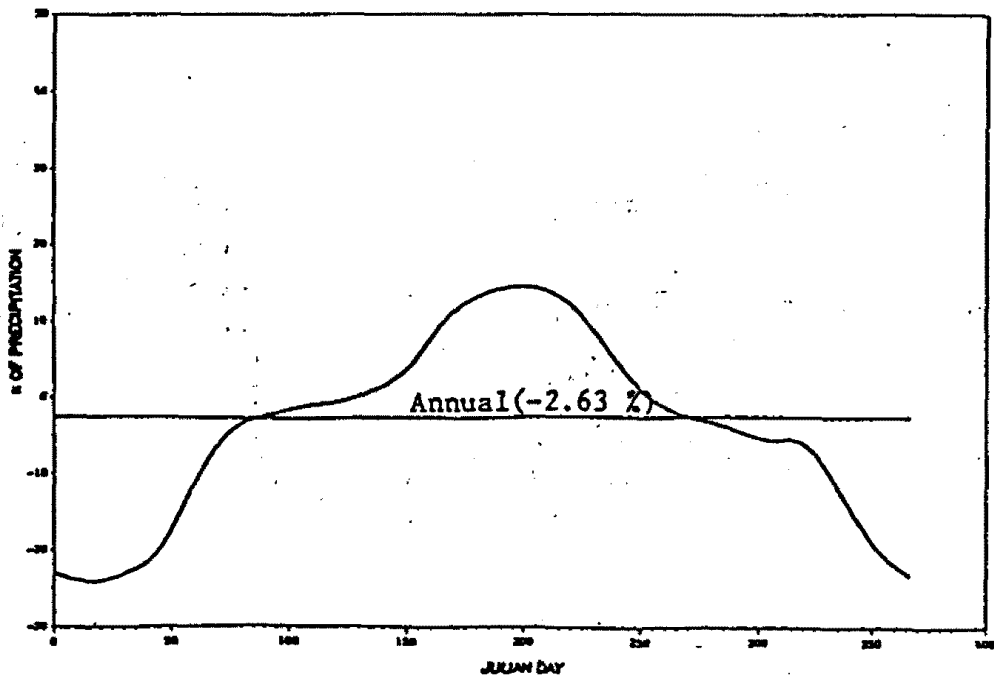


Figure 5 : GISS 2 x CO₂ climate change increment information of precipitation with interpolated daily values for the grid box 1610.

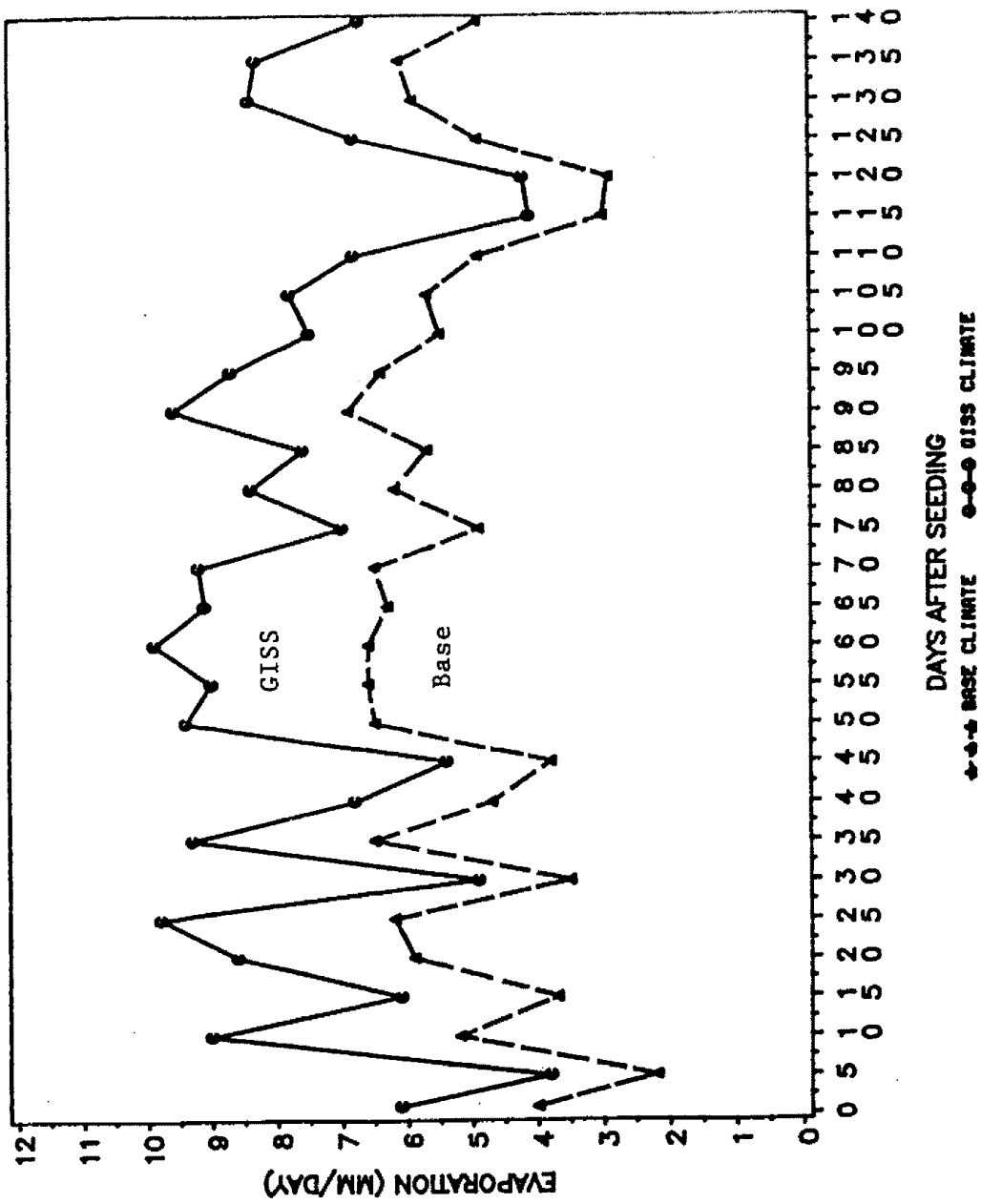


Figure 6 : Comparison of daily evaporation in the base and GISS 2 x CO₂ climate during the growing season for Starbonnet, Arkansas County in 1982.

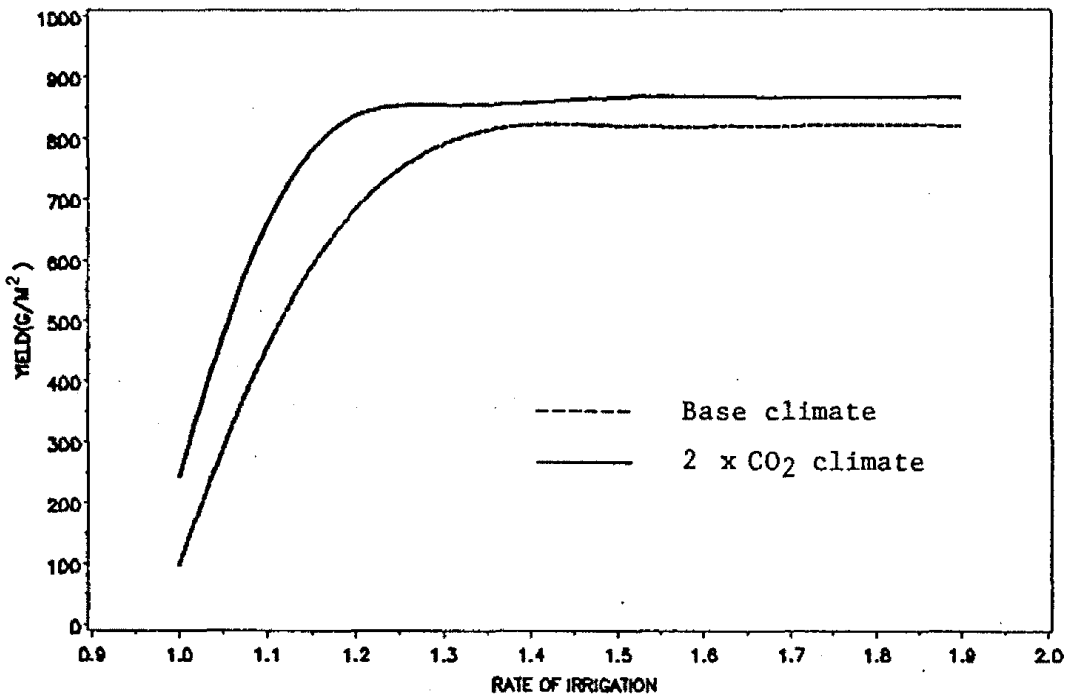


Figure 7 : RICEMOD-300 average trend of yields with irrigation applications for Starbonnet, Arkansas County from 1951 to 1985.

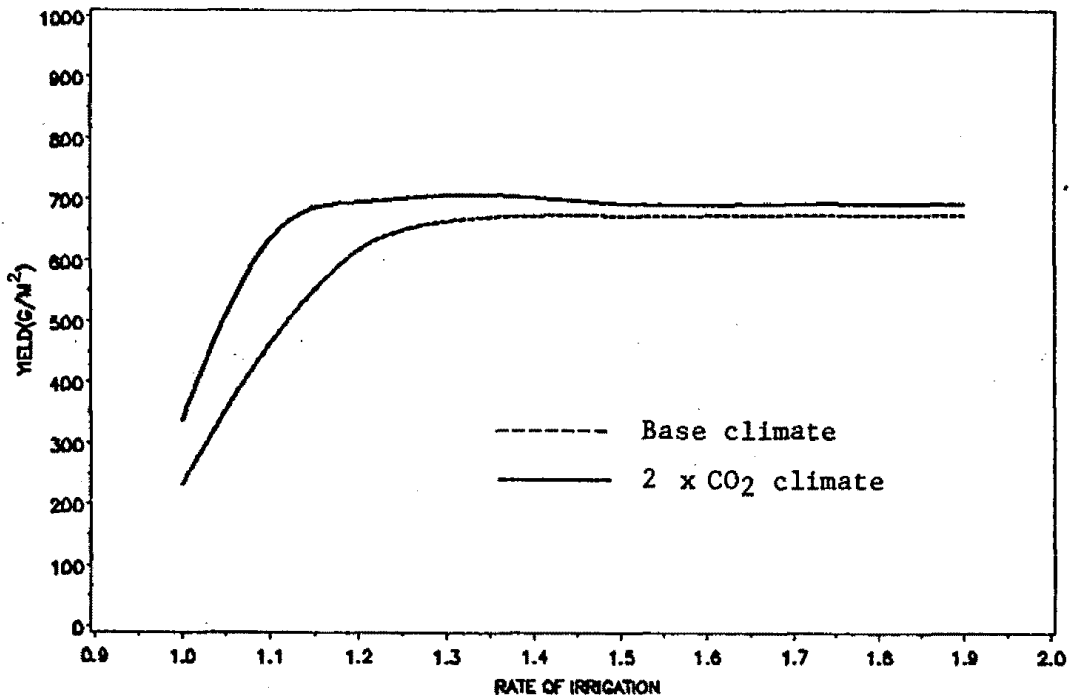


Figure 8 RICEMOD-300 average trend of yields with irrigation applications for Starbonnet, Jackson County AR from 1951 to 1985.