

충남지역에서 기상요소가 벼의 수량과 수량구성요소에 미치는 영향

안종범¹·조진웅^{2*}

Meteorological Response against Yield and Yield Component of Rice in Chungnam and Daejeon Area

Jong-Beom An¹·Jin-Woong Cho^{2*}

ABSTRACT

These studies were conducted to analysis for weather reaction on the growth and yield component according to meteorological elements used Vector Autoregressive Regression(VAR) Model at Daejeon, Hongseong, Geumsan, Nonsan, and Yesan to core of center to Chungnam area in Rice. Reaction of cultivars according to change of meteorological elements for growth and yield component effected on heading time in Gancheokbyeon and Mananbyeon, grain number of a spike in Gancheokbyeon, ratio of ripeness in Gancheokbyeon and Geumbyeon 1, amount of milled rice in Geurubyon and Ansanbyeon, and 1,000 grains weight in Gancheokbyeon, Dasanbyeon, and Hwainbyeon. An effect on the growth and yield components of meteorological elements were influenced by heading date, 1,000 grain weight and ratio of reponing as sunshine hours. The cultivars in sensitive reaction for change of weather condition were classified to 14 varieties including Gerubyon et al., insensitive cultivars were classified to 66 varieties including Gyehwabyon et. al.

Key words: Weather reaction, rice, yield components

1. 서론

벼의 수량은 같은 품종을 지력이 동일한 곳에서 같은 방법으로 재배하여도 기상조건에 따라서 생육이 크게 좌우된다. 그리고 기상환경은 지역과 재배시기에 따라 다를 뿐만 아니라 벼 품종에 따라 생육과 수량에 미치는 기상환경의 영향이 현저히 다르므로 지금까지 각 지역에 알맞은 품종의 선발과 재배시기에 관한 연구가 많이 수행되었다. 작물 생산성의 지역 및 연차 간 변이를 가져오는 중요한 요인 중의 하나가 기상환경이다(원종건 등, 2005). 기상환경이 작물의 생산성에 미치는 영향은 복잡 다양하고 품종과 생육단계에 따라서 차이가 많을 뿐만 아니라 다른 기상요소를 통제할 조건에서 각 기상 요소의 수량에 대한 영향을 평가하기는 매우 어려운 실정이다. 최근 우리나라의 기상은 El Nino와 La Nina 현상으로 국지적인 폭우와 태풍 등으로 거의 모든 작물에서 기상재해가 급증하고 있다. 벼 재배에 있어 1982년도부터 최근까지 El Nino 현상이 5회 발

생하여 평년대비 쌀 수량이 3회에 걸쳐 감소되어 지역별 농업기후 조건을 분석하여 지역의 기후생태에 적응하는 벼 품종육성 및 재배기술 개발을 위한 기초 자료로 이용할 필요가 있다(주영철 등, 2000). 그 중에서도 벼농사의 가장 기본적인 기후의 공간적 변이가 큰 넓은 지역을 대상으로 생육을 모의하기 위해서는 동질적이거나 최소한 유사 기후 특성을 가진 작은 재배구역으로 세분화 하는 것이 선행되어야 한다. 지금까지의 기상예측은 기상요소를 대상으로 단순히 추세전망(Trand extrapolation)하거나, 구조식의 주요 설명변수를 외생적으로 취급하는 시나리오 설정에 의한 예측에 의존하고 있는 실정이다. 이러한 관점에서 주요 기상 요소에 대한 다지역 예측(Multiregional forecast)을 위하여 현실적으로 적용모형의 구성이 용이한 벡타자기회귀법을 활용하여 예측모형을 구성하여 단기적인 지역 기상요소의 변동을 파악하고 예측을 통하여 작물의 품종 육성과 재배 기술 개발에 기초 자료로 이용되는데 의의가 있다.

일반적으로 작물은 동일한 품종을 같은 장소에서 계속 재배하여도 기상요인에 따라서 연차별 생육특성이 다소 다르게 나타날 수 있다. 이러한 변화는 각각의 형질과 환경과의 교호작용에 의해 품종에 따라 그 반응이 다르게 나타날 수 있는데, 우리나라의 벼 재배 면적은 넓지 않지만 남북 및 동서 지역의 복잡한 지형 특성으로 입지조건과 최근의 기후변화가 국지성을 가지는 기상조건이 복잡하여 기상환경이 수량구성요소에 미치는 영향은 지역 및 해에 따라 크게 다르다. 따라서 수량에 미치는 수량구성요소의 영향력을 정량적인 방법으로 분석하면 벼 수량성립의 지역

¹ 충남 농업기술원 예산국화시험장(Yesan Chrysanthemum Experiment Station, Chungcheongnam-do Agricultural Research & Extension Services, Yesan 340-915, Korea)

² 충남대학교 농업생명과학대학 응용식물학과(Department of Crop Science, Collage of Agricultural and Life Science, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

* Corresponding author: 조진웅

Tel.: +82-42-821-5725 Fax: +82-42-822-2631

E-mail: jwcho@cnu.ac.kr

2010년 6월 14일 투고

2010년 7월 8일 심사완료

2010년 9월 17일 게재확정

성을 객관적으로 판단하는데 주요 지표가 될 것이다. 그러나 지역적인 기상조건과 벼의 생육 관련성을 객관적으로 평가하고 수치화 하려는 시도는 거의 없었다.

따라서 본 논문은 이러한 배경 하에서 지역농업의 정보화와 기능성 평가를 위하여 신속 정확한 기상정보의 획득 뿐만 아니라 해당지역의 기후 자원량의 계량화로 기상요소의 지역적 차이와 벼 장려품종들의 수량과 수량구성요소의 기상반응을 분석하여 충남지역의 벼 재배기술 개발에 기초 자료를 제공하고자 본 연구를 수행하게 되었다.

II. 재료 및 방법

1. 시험지역 및 재배품종

본 시험은 1998년부터 2002년까지 5개년 동안 충남지역을 중심으로 내륙지역인 대전·논산·예산, 중산간지역인 금산, 그리고 해안지역인 홍성에서 시험을 수행하였으며 시험 품종은 충남지역에 재배되고 있는 대표적인 장려품종 중 80개 품종을 선발하여 본 시험을 수행하였다.

1998년도에 대전에서 소백벼 등 44, 홍성에서 서진벼 등 15, 금산에서 소백벼 등 16, 논산에서 금오벼 등 17, 예산에서 대전벼 등 14 품종을 재배하였고, 1999년도에 대전에서 금오벼 등 40, 홍성에서 대전벼 등 17, 금산에서 대전벼 등 15, 논산에서 화영벼 등 19, 예산에서 서안벼 등

17 품종을 재배하였으며, 2000년도에는 대전에서 농호벼 등 43, 홍성에서 수진벼 등 17, 금산에서 문장벼 등 18, 논산에서 수라벼 등 18, 예산에서 진품벼 등 17품종을 재배하였다, 2001년도에는 대전에서 소비벼 등 36, 홍성에서 일품벼 등 12, 금산에서 신동진벼 등 15, 논산에서 주남벼 등 15, 예산에서 수라벼 등 14품종을 재배하였고, 2002년도에는 대전에서 동진1호 등 25, 홍성에서 만추벼 등 14, 금산에서 수라벼 등 14, 논산에서 오대벼 등 16, 예산에서 새상주벼 등 15품종을 재배하였다.

2. 경종개요

파종은 4월 25일에 산과육묘상자에 파종하여 30일 육묘하였으며 파종량은 상자당 120~130g을 기준으로 파종하였다. 상토는 증묘용 풍농상토를 사용하였으며 이앙 5일전에 상자당 리전트입제 50g을 살포하였다. 이앙은 5월 25일에 주당본수를 3~4본으로 하여 손으로 이앙하였으며 재식거리는 30cm×15cm로 하여 10줄씩 심었다.

정지는 이앙 3일 전에 실시하였고, 시비량은 N-P₂O₅-K₂O =110-70-80kg ha¹ 수준으로 하였으며, 분시방법은 질소는 기비-분얼비-수비를 50-20-30%, 인산은 전량 기비, 가리는 기비-수비를 70-30%로 분시하였다. 제초제는 룬스타+풀스톱을 체계 처리하였으며 병충해방제는 기간방제 2회, 보완방제 2회로 하여 4회 방제하였다. 실험구배치는 난괴법 3

Table 1. List of chungnam recommended rice cultivars for the experiment.

No.	Cultivar	No.	Cultivar	No.	Cultivar	No.	Cultivar
1	Gancheokbyeo	21	Donganbyeo	41	Sobibyeo	61	Junganbyeo
2	Gyehwabyeo	22	Dongjin1	42	Surabyeo	62	Junghwabyeo
3	Kwanganbyeo	23	Dongjinbyeo	43	Sujinbyeo	63	Jinbongbyeo
4	Geurubyeo	24	Dongjinchalbyeo	44	Sindongjinbyeo	64	Jinpumbyeo
5	Geumnambyeo	25	Mangeumbyeo	45	Arangchalbyeo	65	Cheongmyeongbyeo
6	Geumobyeo	26	Manseongbyeo	46	Ansanbyeo	66	Chucheongbyeo
7	Geumobyeo1	27	Mananbyeo	47	Anseongbyeo	67	Tamjinbyeo
8	Geumobyeo2	28	Manueolbyeo	48	Anjungbyeo	68	Taebongbyeo
9	Namgangbyeo	29	Manchubyeo	49	Yeongnambyeo	69	Haepyongbyeo
10	Namcheonbyeo	30	Manpungbyeo	50	Odaebyeo	70	Hoanbyeo
11	Nampyeongbyeo	31	Munjangbyeo	51	Yeonganbyeo	71	Hojinbyeo
12	Naepungbyeo	32	Sampyeongbyeo	52	Hwajinbyeo	72	Hwanambyeo
13	Nonganbyeo	33	Saegyehwabyeo	53	Obongbyeo	73	Hwamyongbyeo
14	Nonghobyeo	34	Saesangjubyeo	54	Ilmibyeo	74	Hwabongbyeo
15	Dasanbyeo	35	Saechucheongbyeo	55	Ilpumbyeo	75	Hwasambyeo
16	Daesanbyeo	36	Seoanbyeo	56	Janganbyeo	76	Hwaseongbyeo
17	Daeanbyeo	37	Seojinbyeo	57	Jongnambyeo	77	Hwashinbyeo
18	Daeyabyeo	38	Seogjeongbyeo	58	Junambyeo	78	Hwaanbyeo
19	Daejinbyeo	39	Seolhyangchalbyeo	59	Juanbyeo	79	Hwayeongbyeo
20	Daecheongbyeo	40	Sobaegbyeo	60	Jungsanbyeo	80	Hwajungbyeo

반복으로 하였으며 실험구 면적은 구당 15m² 하였다.

3. 기상자료 및 조사항목

기상자료는 1998~2002년까지 5년의 기상자료 중 벼 재배기간인 5월 1일부터 10월 31일까지 지역별 평균기온, 최고기온, 최저기온, 강우량, 일조시수를 활용하였다.

조사항목은 벼의 생육 및 수량구성요소인 출수기, 간장, 수장, 수수, 수당립수, 등숙비율, 친립중, 정조수량을 조사하였다.

4. 통계분석

가. 기상환경 예측분석

기상환경 예측분석은 ADF검정법(Augmented Dickey-Fuller test)으로 단위근을 확인한 후, 요한슨 공적분검정(Johansen Procedure)과 벡타자기회귀모형(VAR: Vector Autoregressive Model)으로 검정하였다. ADF검정에서 시차는 자기상관함수(Autocorrelation function)와 편자기상관함수(Partial autocorrelation function)에 의해 최적시차를 1시차로 결정하였으며, 벡타자기회귀모형의 최적차수결정은 Akaike(1976)가 제창한 AIC(Akaike Information Criteria)와 Schwarz(1978)가 제안한 SC(Schwarz Criteria)를 계산하여 결정하였다.

나. 기상요소와 수량 및 수량구성요소와의 관계분석

기상요소가 수량과 수량구성요소에 미치는 영향을 알아보기 위하여 독립변수를 기상요소로 설정하고 수량과 수량구성요소를 종속변수로 하는 다중회귀분석을 실시하였다. 그리고 지역, 년도, 품종은 더미변수(Dummy variable)를 이용하여 다중회귀분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 품종별 수량 및 수량구성요소

Table 2에서와 같이 벼의 출수는 금오벼2호가 7월 22일로 제일 먼저 출수하였으며, 제일 늦게 출수한 품종은 추청벼로 8월 22일에 출수하였다. 제일 빠른 품종과 늦은 품종 간의 출수기 차이는 31일간이었으며 출수가 빠른 품종은 금오벼2호 > 만월벼 > 새상주벼 > 오대벼 > 만안벼 순이었으며 출수가 늦은 품종은 추청벼 > 탐진벼 > 대청벼 > 대야벼 > 동진벼 순으로 늦었다.

벼의 간장은 오봉벼가 66cm로 가장 짧았으며, 소비벼가 99cm로 제일 길었다. 수장은 대야벼가 18cm로 제일 짧았으며, 소비벼가 24cm로 가장 길었다. 주당수수는 농안벼가 11개로 제일 적었으며, 중산벼가 21개로 제일 많았다. 수당립수는 추청벼가 73개로 제일 적었으며, 제일 많은 품

종은 농안벼로 129개였다. 수당립수는 추청벼 > 새추청벼 > 대안벼 > 대청벼 > 탐진벼 순으로 적었으며, 많은 품종은 농안벼 > 남천벼 > 진봉벼 > 대산벼 > 금오벼2호 순으로 많았다. 등숙비율은 금오벼2호가 69%로 제일 낮았으며, 제일 높은 품종은 추청벼로 96.1%이었다. 현미 친립중은 화진벼가 20.1g으로 제일 적게 나갔으며, 제일 많이 나간 품종은 신동진벼로 27.6g이었다. 20g이하인 소립종은 화진벼, 금남벼, 금오벼1호, 내풍벼, 그루벼였으며 25g이상 나가는 대립종은 신동진벼, 소비벼, 삼평벼, 대청벼, 동진벼순이었다. 10a당 백미수량은 문장벼가 477kg으로 가장 적었고 가장 많은 품종은 다산벼로 613kg이었다. 통일계인 다산벼를 다음으로 일반계 품종 중에서는 새계화벼가 603kg으로 제일 높았다. 500kg이하 품종은 문장벼 > 대청벼 > 설향찰벼 > 금오벼2호 > 금오벼 순으로 적었으며 570kg이상 품종은 다산벼 > 새계화벼 > 동진1호 > 소비벼 > 주안벼 금남벼 순으로 많았다.

10a당 550kg이상인 양질 다수인 품종을 숙기 및 용도별로 분류해 보면 14품종으로 조생종에서는 중산벼, 진봉벼가 많았고, 중생종에서는 소비벼, 만풍벼, 안성벼, 삼평벼, 석정벼가 많았으며, 중만생종에서는 새계화벼, 신동진벼, 동진1호, 주남벼, 중남벼, 일품벼, 호진벼가 많았다. 통일계통에서는 다산벼, 남천벼가 수량이 많은 것으로 분류되었으며 특수미에서는 해당품종이 없는 것으로 분류되었다.

2. 기상요소가 수량과 수량구성요소에 미치는 영향

기상요소가 수량과 수량구성요소에 미치는 영향을 보기 위하여 독립변수를 기상요소로 설정하고 각각의 수량구성요소와의 다중회귀분석을 실시하였다. 회귀분석에 사용한 기상요소와 생육 및 수량구성요소는 모두 1차 차분 변수를 사용하였으며 지역, 년도, 품종은 더미변수를 이용하여 분석하였다.

가. 출수기

기상요소가 출수기에 미치는 영향을 분석한 결과(Table 3, 4) 일조시수는 출수기에 영향을 주었으나, 평균기온, 최고기온 및 최저기온은 영향을 주지 못하였다. 이러한 결과는 윤성호와 이정택(2001)이 출수기는 평균기온, 일조시수 및 주야간 기온교차에 영향을 받는다고 하였고 김기식 등(1978)은 일평균기온과 출수일수와는 부(-)의 상관이 있다고 하였으며, Noguchi(1959, 1960)는 고온은 화아형성에 상당한 영향을 주어 출수가 빨라지고 저온에서 지연되거나 감광성 품종에서 지연정도가 적다고 하였다. 임무상(1981)은 출수에 관여하는 최저 한계온도는 품종에 관계없이 18.2℃라고 하였으며, 김규원(1988) 여러 가지 기상요인을 이용한 표준편회귀분석에서 벼 품종의 출수에는 기상요인 중 평균온도와 적산온도의 영향이 가장 컸으며, 기상

Table 2. Characteristics of the growth and yield component in rice cultivars.

Cultivar	Heading date	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	No. of panicles /hill	No. of spikelets /panicle	Ripening percent (%)	1,000grains weight of brown rice (g)	Brown rough rice ratio (%)	Milled rice yield (kg/10a)
Gancheokbyeo	Aug. 5	79	20	18	94	86.4	23.4	83.9	528
Gyehwabyeo	Aug.13	91	21	18	83	85.5	23.5	83.0	527
Kwanganbyeo	Aug. 6	81	20	15	88	92.4	23.0	82.9	509
Geurubyeo	July 28	82	21	17	103	84.0	20.6	83.0	508
Geumnambyeo	Aug.15	84	19	19	109	80.4	20.4	80.4	548
Geumobyeo	July 29	79	21	17	99	84.4	21.3	83.2	495
Geumobyeo1	Aug. 8	81	20	18	105	90.8	20.4	82.0	529
Geumobyeo2	Aug. 5	96	22	14	122	69.0	22.0	82.8	495
Namgangbyeo	Aug.19	89	21	17	93	92.2	23.3	83.7	547
Namcheonbyeo	Aug.10	81	21	14	128	91.8	22.6	84.2	567
Nampyeongbyeo	Aug.14	77	20	14	93	90.7	21.2	83.5	538
Naepungbyeo	Aug. 3	88	20	19	101	83.8	20.6	83.3	519
Nonganbyeo	Aug. 8	83	24	11	129	82.8	20.8	80.4	516
Nonghobyeo	Aug.18	89	20	18	104	88.7	21.9	83.3	546
Dasanbyeo	Aug. 6	71	23	12	122	91.0	24.6	80.7	613
Daesanbyeo	Aug.16	79	20	14	104	85.4	21.2	83.7	529
Daeanbyeo	Aug.14	80	20	14	78	93.8	24.3	81.7	527
Daeyabyeo	Aug.11	75	18	19	79	94.5	21.8	80.2	521
Daejinbyeo	Aug. 6	90	20	18	91	91.7	24.4	83.2	523
Daecheongbyeo	Aug.16	82	19	13	78	94.5	25.0	81.1	485
Donganbyeo	Aug.10	80	19	14	83	88.1	23.7	84.3	542
Dongjin1	Aug. 8	80	20	13	99	90.9	22.2	84.3	588
Dongjinbyeo	Aug.20	95	20	18	86	94.3	24.8	84.1	530
Dongjinchalbyeo	Aug.17	85	20	17	107	92.4	21.7	82.5	549
Mangeumbyeo	Aug. 9	82	20	19	82	93.4	20.7	80.5	519
Manseongbyeo	Aug.13	86	21	17	96	85.3	21.7	83.9	514
Mananbyeo	Aug. 1	76	21	18	111	79.0	21.6	83.1	502
Manueolbyeo	Aug. 2	84	20	15	98	70.0	23.4	84.4	515
Manchubyeo	July 31	77	20	14	98	86.1	21.5	82.9	522
Manpungbyeo	Aug.16	88	21	16	104	89.0	23.1	84.0	564
Munjangbyeo	Aug. 1	79	21	20	93	85.2	22.3	84.0	477
Sampyeongbyeo	Aug. 6	80	22	14	100	81.1	25.3	82.8	556
Saegyehwabyeo	Aug. 5	71	20	15	99	89.2	22.8	84.4	603
Saasangjubyeo	July 31	73	20	15	104	73.9	21.5	83.9	551
Saechucheongbyeo	Aug.11	86	19	18	77	91.9	21.9	84.0	538
Seoanbyeo	Aug.10	79	21	19	98	85.4	22.5	82.6	527
Seojinbyeo	Aug. 9	84	21	18	100	83.2	23.9	81.6	530
Seogjeongbyeo	Aug. 4	78	21	15	90	80.4	22.9	84.0	550
Seolhyangchalbyeo	Aug. 6	95	22	19	93	87.8	20.7	82.7	494
Sobaegbyeo	July 22	76	21	17	97	90.2	21.1	84.3	502

Table 2. Continued.

Cultivar	Heading date	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	No. of panicles /hill	No. of spikelets /panicle	Ripening percent (%)	1,000grains weight of brown rice (g)	Brown rough rice ratio (%)	Milled rice yield (kg/10a)
Sobibyeo	Aug.13	99	24	15	113	83.3	27.2	84.0	586
Surabyeo	Aug. 6	78	20	16	85	82.8	21.8	84.0	547
Sujinbyeo	Aug.22	83	20	17	111	87.0	21.9	83.5	542
Sindongjinbyeo	Aug. 8	83	21	13	105	80.1	27.6	84.4	576
Arangchalbyeo	Aug.14	79	20	16	101	86.3	22.3	79.6	501
Ansanbyeo	Aug. 5	71	21	13	102	84.3	21.9	81.5	530
Anseongbyeo	Aug. 8	80	20	15	95	89.0	22.9	83.8	564
Anjungbyeo	Aug.10	81	22	17	102	88.8	23.8	82.5	523
Yeongnambyeo	Aug.17	74	18	14	82	93.4	22.5	82.4	505
Odaebyeo	July 28	75	20	14	84	76.6	25.7	84.1	510
Yeonganbyeo	Aug.13	83	21	15	103	85.8	22.4	83.7	545
Hwajinbyeo	Aug.14	86	19	21	82	91.3	20.1	81.3	527
Obongbyeo	July 31	66	19	13	85	88.7	24.2	84.3	504
Ilmibyeo	Aug.10	79	20	15	91	89.9	22.5	84.4	539
Ilpumbyeo	Aug.10	75	21	14	108	80.8	22.9	83.5	563
Janganbyeo	Aug. 6	79	19	21	83	89.6	21.3	81.9	511
Jongnambyeo	Aug.10	79	20	14	94	91.6	23.4	83.6	575
Junambyeo	Aug.10	69	20	14	100	81.4	23.8	83.6	581
Juanbyeo	Aug.12	87	20	19	81	93.9	23.2	82.6	515
Jungsanbyeo	Aug. 1	81	21	21	99	79.2	21.1	83.2	555
Junganbyeo	Aug. 7	96	23	17	101	86.9	21.2	84.0	535
Junghwabyeo	July 30	84	21	20	106	83.3	21.5	83.7	529
Jinbongbyeo	Aug. 2	83	22	18	124	86.5	23.2	84.1	554
Jinpumbyeo	Aug.11	89	21	16	108	92.3	23.4	84.2	563
Cheongmyeongbyeo	Aug.14	77	20	15	83	94.2	23.0	83.0	526
Chucheongbyeo	Aug.11	83	19	16	73	96.1	21.7	83.9	530
Tamjinbyeo	Aug.18	79	19	16	78	94.8	24.2	83.8	517
Taebongbyeo	July 26	83	22	19	109	82.2	21.0	83.1	517
Haepyeongbyeo	Aug. 4	75	21	16	90	79.8	23.5	83.2	542
Hoanbyeo	Aug.10	77	20	13	102	90.8	20.9	83.2	546
Hojinbyeo	Aug. 9	76	21	14	92	90.0	23.5	83.7	564
Hwanambyeo	Aug.13	86	20	18	110	86.0	22.3	81.3	533
Hwamyongbyeo	Aug.13	86	20	18	98	87.6	22.0	83.1	512
Hwabongbyeo	Aug.14	86	21	18	93	90.5	22.4	83.5	530
Hwasambyeo	Aug.18	87	20	17	101	92.7	22.5	84.3	549
Hwaseongbyeo	Aug.13	89	22	17	92	93.1	22.5	84.2	517
Hwashinbyeo	Aug.13	89	21	18	97	85.1	24.0	82.9	542
Hwaanbyeo	Aug. 5	75	21	14	93	79.2	24.6	82.9	526
Hwayeongbyeo	Aug.10	83	22	19	100	85.8	23.0	83.7	546
Hwajungbyeo	Aug. 6	83	20	17	90	91.5	23.3	81.4	501

Table 3. Influence of meteorological elements on heading time.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic
Sunshine hours	-0.0055	0.00321	-1.716986 ^{z*}
Maximum air tem.	0.00629	0.00604	1.04156
Mean air tem.	-0.00624	0.01003	-0.62222
Minimum air tem.	-0.00319	0.00586	-0.54468
Amount of rainfall	-0.00038	0.00037	-1.01193
C	-0.00084	0.00691	-0.12260
R-squared	0.00456	Mean dependent var	-0.00082
Adjusted R-squared	-0.00088	S.D. dependent var	0.20958
S.E. of regression	0.20968	Akaike info criterion	-0.27996
Sum squared resid	40.18473	Schwarz criterion	-0.24850
Log likelihood	134.78440	F-statistic	0.83812
Durbin-Watson stat	1.98754	Prob(F-statistic)	0.52269

^{z*} ; 5% levels of significant.

Table 4. Regional comparison of meteorological changes on heading time.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic
Sunshine hours	0.02335	0.02163	1.07940
Maximum air tem.	-0.00788	0.04051	-0.19463
Mean air tem.	-0.00905	0.06647	-0.13616
Minimum air tem.	0.01745	0.03891	0.44842
Amount of rainfall	-0.00060	0.00250	-0.23980
Hongseong	0.45438	0.22805	1.992386 ^{z**}
Nonsan	0.06857	0.12648	0.54212
Yesan	0.09067	0.12326	0.73563
Geumsan	0.10102	0.17000	0.59425
Daejeon	0.01594	0.09249	0.17240
C	22.5023	0.15400	146.11080
R-squared	0.00712	Mean dependent var	22.63536
Adjusted R-squared	-0.00381	S.D. dependent var	1.38603
S.E. of regression	1.38867	Akaike info criterion	3.50647
Sum squared resid	1750.99600	Schwarz criterion	3.56420
Log likelihood	-1600.22300	F-statistic	0.65156
Durbin-Watson stat	0.65487	Prob(F-statistic)	0.76976

^{z**} ; 1% levels of significant.

요인들이 단독 또는 복합적으로 관여하고 있는 것으로 나타났으며 그 정도는 품종에 따라서 달랐다는 연구결과와 비교하여 볼 때 일조시수와는 같은 경향이었으나 다른 기상요소와는 이와 다르게 나타나고 있다. 지역적으로 볼 때는 논산, 예산, 금산 및 대전지방의 기상요소는 출수기에 영향을 미치지 못하나 홍성지역의 기상요소는 출수기에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 영향은 시험포장이 해안지역에 위치하여 내륙지방보다 기상의 영향을 더 많이 받았기 때문으로 사료된다.

나. 간장

이은웅(1964)는 파종기가 늦으면 간장이 짧아진다고 하였고, 안수봉(1973)은 도복에 감내할 수 있는 범위 내에서 간장이 큰 것이 좋다고 하였으며, 예종두(1995)는 온도가 낮으면 간장이 단축된다고 하였는데, 기상요소가 간장에 미치는 영향을 분석한 결과(Table 5) 수장에는 영향을 미치지 않았으며, Table 6에서와 같이 기상요소가 지역별로 간장에 미치는 영향을 분석한 결과에서도 지역 간 특징이 없는 것으로 나타났다.

Table 5. Influence of meteorological elements on culm length.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic
Sunshine hours	-0.04650	0.06810	-0.68289
Maximum air tem.	0.14437	0.12793	1.12848
Mean air tem.	0.02216	0.21230	0.10441
Minimum air tem.	-0.08453	0.12410	-0.68119
Amount of rainfall	-0.00222	0.00798	-0.27826
C	0.01049	0.14633	0.07173
R-squared	0.00694	Mean dependent var	0.00760
Adjusted R-squared	0.00151	S.D. dependent var	4.44148
S.E. of regression	4.43812	Akaike info criterion	5.82484
Sum squared resid	18002.99000	Schwarz criterion	5.85630
Log likelihood	-2673.42600	F-statistic	1.27897
Durbin-Watson stat	2.18277	Prob(F-statistic)	0.27071

Table 6. Regional comparison of meteorological changes on culm length.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic
Sunshine hours	-0.02582	0.09633	-0.26810
Maximum air tem.	0.09723	0.18040	0.53897
Mean air tem.	-0.05520	0.29600	-0.18651
Minimum air tem.	0.04197	0.17328	0.24223
Amount of rainfall	-0.00817	0.01115	-0.73263
Hongseong	1.83195	1.01555	1.80389
Nonsan	0.09687	0.56325	0.17198
Yesan	0.05137	0.54890	0.09360
Geumsan	0.14047	0.75704	0.18556
Daejeon	0.22491	0.41187	0.54608
C	80.63329	0.68581	117.57360
R-squared	0.00606	Mean dependent var	80.93798
Adjusted R-squared	-0.00488	S.D. dependent var	6.16878
S.E. of regression	6.18383	Akaike info criterion	6.49365
Sum squared resid	34721.75000	Schwarz criterion	6.55138
Log likelihood	-2972.83300	F-statistic	0.55363
Durbin-Watson stat	0.52462	Prob(F-statistic)	0.85202

Table 7. Influence of meteorological elements on spike length.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic
Sunshine hours	-0.05097	0.09906	-0.51455
Maximum air tem.	0.03661	0.18609	0.19675
Mean air tem.	0.07134	0.30881	0.23102
Minimum air tem.	-0.18852	0.18052	-1.04430
Amount of rainfall	0.01251	0.01161	1.07730
C	-0.00061	0.21286	-0.00289
R-squared	0.00339	Mean dependent var	0
Adjusted R-squared	-0.00205	S.D. dependent var	6.44909
S.E. of regression	6.45572	Akaike info criterion	6.57431
Sum squared resid	38092.23000	Schwarz criterion	6.60577
Log likelihood	-3018.18400	F-statistic	0.62273
Durbin-Watson stat	2.00440	Prob(F-statistic)	0.68249

다. 수장

안수봉(1973)은 통일형 품종이 일반품종에 비하여 수장이 길고, 이은웅(1964)가 수장의 감축정도는 조생종품종군보다 만생종품종군에서 큰 영향을 나타낸다고 하였으나 기상요소가 수장에 미치는 영향(Table 7)을 분석한 결과에서는 수장에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며 기상변화가 지역별로 수장에 미치는 영향을 분석한 결과(Table 8)에서도 지역 간 특징이 없는 것으로 나타났다.

라. 수수

Table 9에서 기상요소가 수수에 미치는 영향을 분석한 결과 수수에는 영향이 없는 것으로 나타났으며 Table 10

에서 지역별로 수수에 미치는 영향을 분석한 결과에서도 지역 간 특징이 없는 것으로 나타났다. 김정공 등(1990)과 김용재 등(1993)은 이앙시기가 늦어지면 m^2 당 수수가 적어진다고 하였고, 최현옥(1965)는 파종기 지연에 따른 수수의 변화에서 일정시기까지는 감소하나 이후 다시 증가한다고 하였으며 박석홍(1975)은 수수는 이앙 후 21~30일의 기상요인과 밀접한 관계가 있다고 하였으나 본 실험에서는 영향이 없는 것으로 나타났다.

마. 수당립수

김정공 등(1990)은 광산은 이리보다 영화분화기에 소모도장효과가 높아 영화수 확보가 불리하다고 하였고, 김용재

Table 8. Regional comparison of meteorological changes on spike length.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic
Sunshine hours	0.00343	0.15215	0.02257
Maximum air tem.	-0.27366	0.28493	-0.96044
Mean air tem.	0.25290	0.46752	0.54095
Minimum air tem.	-0.31899	0.27369	-1.16549
Amount of rainfall	0.00036	0.01762	0.02082
Hongseong	-2.19007	1.60403	-1.36535
Nonsan	-0.68509	0.88963	-0.77009
Yesan	-0.50550	0.86697	-0.58306
Geumsan	-0.26589	1.19573	-0.22236
Daejeon	0.02937	0.65053	0.04514
C	22.11420	1.08321	20.41536
R-squared	0.00643	Mean dependent var	21.38520
Adjusted R-squared	-0.00450	S.D. dependent var	9.74520
S.E. of regression	9.76714	Akaike info criterion	7.40782
Sum squared resid	86620.56000	Schwarz criterion	7.46555
Log likelihood	-3392.89400	F-statistic	0.58814
Durbin-Watson stat	0.44590	Prob(F-statistic)	0.82455

Table 9. Influence of meteorological elements on number of spike.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic
Sunshine hours	-0.13252	1.21949	-0.10866
Maximum air tem.	1.25653	2.29087	0.54849
Mean air tem.	-2.37348	3.80161	-0.62433
Minimum air tem.	0.82760	2.22227	0.37241
Amount of rainfall	-0.01110	0.14295	-0.07766
C	0.00144	2.62036	0.00055
R-squared	0.00044	Mean dependent var	0.00326
Adjusted R-squared	-0.00502	S.D. dependent var	79.27264
S.E. of regression	79.47145	Akaike info criterion	11.59517
Sum squared resid	5772560.00000	Schwarz criterion	11.62664
Log likelihood	-5327.78000	F-statistic	0.08155
Durbin-Watson stat	2.99845	Prob(F-statistic)	0.99509

Table 10. Regional comparison of meteorological changes on number of spike.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic
Sunshine hours	0.00684	0.87609	0.00781
Maximum air tem.	0.51663	1.64067	0.31489
Mean air tem.	-1.81786	2.69200	-0.67528
Minimum air tem.	0.34881	1.57595	0.22133
Amount of rainfall	-0.02776	0.10145	-0.27367
Hongseong	-3.99673	9.23602	-0.43273
Nonsan	-7.21546	5.12250	-1.40858
Yesan	0.47389	4.99200	0.09493
Geumsan	-6.50832	6.88500	-0.94528
Daejeon	-3.65484	3.74578	-0.97572
C	25.78390	6.23714	4.13392
R-squared	0.00537	Mean dependent var	18.83569
Adjusted R-squared	-0.00557	S.D. dependent var	56.08294
S.E. of regression	56.23917	Akaike info criterion	10.90900
Sum squared resid	2871863.00000	Schwarz criterion	10.96673
Log likelihood	-5001.68600	F-statistic	0.49067
Durbin-Watson stat	1.99435	Prob(F-statistic)	0.89677

Table 11. Influence of meteorological elements on grain numbers of a spike.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic
Sunshine hours	-0.05097	0.09906	-0.51455
Maximum air tem.	0.03661	0.18609	0.19675
Mean air tem.	0.07134	0.30881	0.23102
Minimum air tem.	-0.18852	0.18052	-1.04430
Amount of rainfall	0.01251	0.01161	1.0773
C	-0.00061	0.21286	-0.00289
R-squared	0.00339	Mean dependent var	0
Adjusted R-squared	-0.00205	S.D. dependent var	6.44909
S.E. of regression	6.45572	Akaike info criterion	6.57431
Sum squared resid	38092.23000	Schwarz criterion	6.60577
Log likelihood	-3018.18400	F-statistic	0.62273
Durbin-Watson stat	2.00440	Prob(F-statistic)	0.68249

등(1993)은 기계이앙에서 조기 이앙 할수록 영화수가 많아진다고 하였는데, Table 11에서 보는 바와 같이 기상 요소가 수당립수에는 영향을 못 미치나 홍성지역의 99% 신뢰구간에서 정의 영향이 있는 것으로 나타났다(Table 12). 영화수는 자연광보다 차광을 했을 때 감소하고(김기식 등, 1991) 냉수처리에 의한 영화수 감소폭은 자포니카 품종에서 크다고 한 예종두(1995)의 보고와 같은 경향이었다.

바. 등숙비율

Table 13에서 등숙비율에는 기상요소, 지역과 연도별 기상 간에 서로 영향을 미치는 것으로 나타났는데 특히 일

조시수와는 정의 상관을 보였다. 특히 홍성지역의 경우 일조시수와 등숙비율간에는 고도로 유의한 상관관계를 보이고 있다(Table 14). 이와 같은 결과는 이은웅(1971)이 보고한 벼의 등숙작용에는 출수 전후의 영양상태와 기상적 조건이 상호 연관되어 있다고 보고한 내용과 일치하였다. 김영섭(1965), 松島와 角田(1958), Murata(1966) 등은 등숙에 기상조건이 크게 영향을 미친다고 보고하였고, Chandler(1963), 松島(1964), Moomaw 등(1967), Saeki (1962)은 일사량의 영향이 크다고 보고한 내용과 유사한 결과를 얻었다.

Table 12. Regional comparison of meteorological changes on grain numbers of a spike

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic
Sunshine hours	-0.06400	0.18877	-0.33907
Maximum air tem.	-0.11356	0.35352	-0.32123
Mean air tem.	0.06006	0.58005	0.10355
Minimum air tem.	0.09300	0.33957	0.27387
Amount of rainfall	0.00099	0.02186	0.04527
Hongseong	-7.46796	1.99011	-3.75253 ^{***z}
Nonsan	0.03052	1.10376	0.02765
Yesan	0.64698	1.07564	0.60148
Geumsan	0.06201	1.48353	0.04180
Daejeon	0.27401	0.80711	0.33950
C	90.71124	1.34393	67.49681
R-squared	0.01877	Mean dependent var	90.87160
Adjusted R-squared	0.00796	S.D. dependent var	12.16655
S.E. of regression	12.11801	Akaike info criterion	7.83916
Sum squared resid	133336.30000	Schwarz criterion	7.89689
Log likelihood	-3591.09400	F-statistic	1.73690
Durbin-Watson stat	0.65013	Prob(F-statistic)	0.06838

^z *** ; 0.1% levels of significant.

Table 13. Influence of meteorological elements on ratio of ripeness.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic
Sunshine hours	0.08417	0.048836	1.723721 ^{*z}
Maximum air tem.	0.08536	0.09174	0.93047
Mean air tem.	-0.22781	0.15223	-1.49645
Minimum air tem.	0.06130	0.08899	0.68885
Amount of rainfall	0.00942	0.00572	1.64651
C	-0.00558	0.10493	-0.05326
R-squared	0.01057	Mean dependent var	-0.00445
Adjusted R-squared	0.00516	S.D. dependent var	3.19076
S.E. of regression	3.18250	Akaike info criterion	5.15971
Sum squared resid	9257.30900	Schwarz criterion	5.19117
Log likelihood	-2367.46900	F-statistic	1.95456
Durbin-Watson stat	2.48650	Prob(F-statistic)	0.08304

^z * ; 5% levels of significant.

Table 14. Regional comparison of meteorological logical changes on ratio of ripeness.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic
Sunshine hours	0.03813	0.06985	0.54599
Maximum air tem.	-0.01148	0.13080	-0.08778
Mean air tem.	0.11231	0.21463	0.52331
Minimum air tem.	-0.01974	0.12564	-0.15717
Amount of rainfall	0.00824	0.00808	1.01900
Hongseong	2.10576	0.73637	2.85962 ^{***z}
Nonsan	0.06595	0.40841	0.16150

Table 14. Continued.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic
Yesan	-0.01885	0.39800	-0.04738
Geumsan	0.18732	0.54893	0.34124
Daejeon	-0.01751	0.29864	-0.05864
C	89.19361	0.49727	179.36330
R-squared	0.01259	Mean dependent var	89.34908
Adjusted R-squared	0.00172	S.D. dependent var	4.48774
S.E. of regression	4.48387	Akaike info criterion	5.85075
Sum squared resid	18255.46000	Schwarz criterion	5.90848
Log likelihood	-2677.41900	F-statistic	1.15838
Durbin-Watson stat	0.51224	Prob(F-statistic)	0.31549

^z *** ; 0.1% levels of significant.

Table 15. Influence of meteorological elements on 1,000 grains weight.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic
Sunshine hours	0.029235	0.017168	1.702906 ^z
Maximum air tem.	-0.02421	0.03225	-0.75093
Mean air tem.	-0.00517	0.05351	-0.09668
Minimum air tem.	0.00698	0.03128	0.22337
Amount of rainfall	0.00056	0.00201	0.27922
C	-0.00230	0.03688	-0.06252
R-squared	0.00370	Mean dependent var	-0.00173
Adjusted R-squared	-0.00174	S.D. dependent var	1.11780
S.E. of regression	1.11877	Akaike info criterion	3.06884
Sum squared resid	1144.01800	Schwarz criterion	3.10031
Log likelihood	-1405.67000	F-statistic	0.68055
Durbin-Watson stat	2.19793	Prob(F-statistic)	0.63826

^z * ; 5% levels of significant.

Table 16. Influence of meteorological elements on yield of unhulled rice.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic
Sunshine hours	-0.32157	0.75399	-0.42649
Maximum air tem.	0.46306	1.41641	0.32693
Mean air tem.	-1.19647	2.35047	-0.50903
Minimum air tem.	-0.23987	1.37399	-0.17458
Amount of rainfall	0.00365	0.08838	0.04137
C	-0.01196	1.62012	-0.00738
R-squared	0.00149	Mean dependent var	0.00434
Adjusted R-squared	-0.00396	S.D. dependent var	49.03888
S.E. of regression	49.13596	Akaike info criterion	10.63356
Sum squared resid	2206709.00000	Schwarz criterion	10.66502
Log likelihood	-4885.43700	F-statistic	0.27442
Durbin-Watson stat	2.77293	Prob(F-statistic)	0.92720

Table 17. Regional comparison of meteorological changes on yield of unhulled rice.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic
Sunshine hours	-0.23572	0.70547	-0.33413
Maximum air tem.	0.63208	1.32114	0.47843
Mean air tem.	-0.64623	2.16772	-0.29811
Minimum air tem.	0.05246	1.26903	0.04134
Amount of rainfall	0.03662	0.08169	0.44832
Hongseong	-3.44174	7.43727	-0.46277
Nonsan	5.06974	4.12487	1.22906
Yesan	4.67840	4.01979	1.16384
Geumsan	1.08115	5.54412	0.19500
Daejeon	-3.17948	3.01627	-1.05410
C	692.41710	5.02243	137.86480
R-squared	0.00729	Mean dependent var	695.68340
Adjusted R-squared	-0.00364	S.D. dependent var	45.20417
S.E. of regression	45.28639	Akaike info criterion	10.47579
Sum squared resid	1862178.00000	Schwarz criterion	10.53352
Log likelihood	-4802.62400	F-statistic	0.66698
Durbin-Watson stat	1.16872	Prob(F-statistic)	0.75575

사. 천립중에 미치는 영향

기상요소가 천립중에 미치는 영향을 분석한 결과 일조시수가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다(Table 15).

천립중은 이앙시기에 관계없이 일반형은 출수후 40일, 통일형은 45일에 가장 높았다고 하였으며(사중구 등, 1989), 김기식 등(1995)은 표고가 높을수록 천립중은 감소하며 500m이상에서는 수확을 전혀 볼 수 없는 상태였다고 하였다, 김정곤 등(1990)은 천립중은 이앙기 및 재식밀도에 따른 차이가 매우 적었다고 하였으며, 최순호 등(1989)은 등숙기의 고온조건이 현미의 등숙을 저해함으로써 조기재배에서 1,000립중이 가볍다고 하였고 만기재배에서는 출수기가 지연되어 저온으로 인한 등숙장애로 1,000립중의 감소가 일어날 수 있다고 하였으며, Matsushima 등(1966)은 21~22℃이하의 온도에서는 1,000립중이 감소한다고 보고하였다. 佐佐(1935)는 현미중 증가는 개화후 5일부터 20일까지 계속된다고 하였으며, 中村(1963)는 현미 비대는 출수후 15~25일의 기온과 밀접한 관계에 있다고 하였다. 현미 1,000립 중이 크게 영향을 받는 시기는 유수형성기부터 출수후 20일 경(松島와 角田, 1957; 松島, 1964)이고 출수전 10일부터 출수후 30일의 기상이 등숙요소에 크게 영향(村田, 1964)을 준다고 하였다. 박석홍(1975)은 현미 1,000립 중에 미치는 기상요인의 기여율은 최고기온이 등숙 초기나 중기에 높고 최저기온은 등숙기간에 대체로 부(-)의 영향을 주며 수량에 크게 기여한다고 하였는데 이러한 보고와 일치하는 경향이였다.

아. 정조수량

Table 16에서 기상요소는 정조수량에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며 Table 17의 지역 간 분석에서도 별다른 영향이 없는 것으로 나타났다.

VI. 결론

충남지역을 중심으로 대전·홍성·금산·논산·예산에서 기상요소들이 벼의 생육 및 수량구성요소에 미치는 기상반응을 백타자기회귀(VAR)모형으로 분석한 결과, 기상요소의 변화에 따른 수량 및 수량구성요소의 품종 간 반응은 출수기에는 간척벼와 만안벼가, 수당립수에는 간척벼가, 등숙비율에는 간척벼와 금오벼1호가, 천립중에는 간척벼, 다산벼 화진벼가, 백미수량에는 그루벼와 안산벼가 영향을 받았다. 기상요소가 벼의 생육과 수량구성요소에 미치는 영향은 일조시수가 가장 큰 영향을 미쳤으며, 출수기, 천립중 및 등숙비율이 영향을 미쳤으나 나머지 요소들에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 기상변화에 예민하게 반응하는 품종은 그루벼 등 14개 품종이며, 둔감하게 반응하는 품종은 계화벼 등 66개 품종으로 분류되었다.

참고문헌

1. 김규원. 1988. 중북부지방에 있어서 수도품종의 작기이동에 따른 출수반응 및 출수기유전에 관한 연구. 농사논문집(수도편) 30(1): 39-58.

2. 김기식, 김승경, 허범량, 윤경민. 1991. 출수기 차광이 벼 수량 관련형질에 미치는 영향. 한국작물학회지. 36(2): 127-133.
3. 김기식, 김재록, 지현소, 고중환, 이미애, 김두열, 신영범, 박승의. 1995. 1993년도 강원도 산간고랭지대 벼 냉해 피해분석. 농업논문집. 37(2): 74-89.
4. 김영섭. 1965. 수도재배의 주요환경요인에 관한 해석적 조사연구. 한국작물학회지. 3: 49-82.
5. 김용재, 신해용, 장강연. 1993. 남부지방에서 벼 재배형태별 분얼체계 및 수량구성형질의 차이에 관한 연구. II. 출수기와 수량구성형질의 변화. 한국작물학회지. 37(6): 487-498.
6. 김정곤, 이선용, 김진기. 1990. 호남지방에서 수도생육 및 수량의 지역간 차이에 관한 재배학적 연구. 농시논문집(수도편). 32(1): 34-46.
7. 박석홍. 1975. 수도수량구성요소에 미치는 기상영향의 해석적 연구. 한국작물학회지. 18: 55-88.
8. 사중구, 김기식, 한세기, 허범양, 이원식. 1989. 중북부 평야지에서의 벼 이앙기별 출수후 경과일수에 따른 성숙도 변화. 농시논문집(수도편). 31(2): 57-62.
9. 안수봉. 1973. 수도 등숙의 품종간차이와 그 향상에 관한 연구. 한국작물학회지. 14: 1-40.
10. 예중두. 1995. 냉수처리답에서 벼 품종유형에 따른 저온 반응. 한국작물학회지. 40(2): 203-211.
11. 원종건, 이선형, 최장수, 박상구, 안덕중, 박소득, 손재근. 2005. 경북 지역의 연차 간 쌀 품질변이. 한국작물학회지. 50(S): 69-76.
12. 윤성호, 이정택. 2001. 기후변화에 따른 벼 적정 등숙기간의 변동과 대책. 한국농림기상학회지. 3(1): 55-70.
13. 이은웅. 1964. 수도품종의 생태적 특성에 관한 연구. I. 파종기 및 묘대기간의 차이가 출수기에 미치는 영향 및 품종간의 품종간의 변이. Seoul Univ. J. (B) 15: 25-47.
14. 이은웅. 1971. 한국에 있어서 출수기 전후의 수도의 영양상태와 기상적 조건이 현미중구성에 미치는 영향. 춘계최범열박사 회갑기념논문집: 65-78.
15. 임무상. 1981. 수도품종의 출수생태에 관한 연구. 한국육종학회지. 13(2): 73-100.
16. 주영철, 임갑준, 한상욱, 박중수, 조영철, 김순재. 2000. 1999년에 발생한 기상재해 유형별 벼 수량반응조사 연구. 한국농림기상학회지. 2(1): 1-8.
17. 최순호, 최장수, 이승필, 이광석, 최대웅, 최경배, 심용구. 1989. 안개 상습지에서 기상요인이 수도수량에 미치는 영향. 농시논문집(수도편). 31(3): 67-72.
18. 최현욱. 1965. 재배시기 이동에 의한 수도의 생태변이에 관한 연구. I 재배시기 이동에 의한 수도의 실용제형질의 변이. 한국작물학회지. 3: 1-40.
19. Chandler, R.F. 1963. An analysis of factors affecting rice yield. IRS Newsletter. 12(4): 1-17.
20. Matsushima, S., T. Tanaka, T. Hoshino. 1966. Analysis of yield determining process and its application to yield prediction and culture improvement of lowland rice. LXXV. Temperature effects on tillering in case of leaves and culm, culm basis, and root being independently treated. Proc. Crop Sci. Soc. Jpn. 34: 478-483.
21. Moomaw, J.C., P.G. Baldazo, L. Luscas. 1967. Effects of ripening period environment on yields of tropical rice. IRC Newsletter special issue: 18-25.
22. Murata, Y. 1966. On the influence of solar radiation and air temperature upon the local differences in the productivity of paddy rice in Japan. IRC Newsletter 15(2): 20-30.
23. Noguchi, Y. 1959. Studies on the control of flower bud formation by temperature and day-length in rice plants. I. Hastening of heading by high temperature. Jap. J. Breeding. 8: 247-253.
24. Noguchi, Y. 1960. Studies on the control of flower bud formation by temperature and day-length in rice plants. IV. Flower bud formation in response to alternation of temperature conditions. Jap. J. Breeding. 10(2): 101-106.
25. Saeki, T. 1962. light eelations in plant communities. Environmental control of plant growth. Academic press: 79-94.
26. 松島省三. 1964. 水稻の理論と技術. 養賢堂.
27. 松島省三, 角田公正. 1957. 水稻收量の成立と豫察に關する作物學的研究 XLII. -穗穎花數の豫察について(2). 日作紀. 26(2): 87-88.
28. 村田吉男. 1964. わが國の水稻收量の地域性に及ぼす日射と溫度の影響について. 日作紀. 33(1): 59-63.