

마늘에 대한 관개 영향 및 소비수량 산정

Irrigation Effects and Consumptive Use of Water for Garlic

윤 광 식* 정 재 운** 한 국 현*** 김 영 주**** 김 진 택*****

Yoon, Kwang Sik · Jung, Jae Woon · Han, Kuk Heon · Kim, Young Joo · Kim, Jin Taek

Abstract

In order to investigate effect of irrigation on soil moisture and garlic growth, a experimental plot, which was shielded from precipitation was established. The irrigation levels during the experimental period were 30, 20, 10 mm and non-irrigation with the 6 times irrigation. For field experiment, climatic data were collected; soil moisture contents of three different depths were measured; garlic growth and yield data were also analyzed. The experiment showed that irrigation amount significantly affected soil moisture content and garlic growth and yield. Crop coefficient of garlic was also estimated using the Penman-Monteith model and observed field data.

1. 서 론

작물은 토양이 건조하게 되면 토양 중에 있는 양분이 흡수 이용하기 어려운 불가급태로 되어 생육에 지장을 주며, 마늘의 경우 파종후나 월 동시에 건조하면 뿌리의 발육이 불량하여 동해를 받기 쉽다. 특히 한지형 마늘의 월동율은 파종후 10, 11월의 강수량과 밀접한 관계가 있어 해에 따라서는 50% 이하의 월동율을 나타낼

경우도 있다. 마늘은 특히 마늘통의 비대기에 다량의 수분을 요구한다. 마늘통이 비대하는 시기인 4~6월은 상습적인 가뭄으로 인하여 토양이 건조한 상태이므로, 난지형 마늘은 구비대 최성기인 4월 하순~5월 중순, 한지형 마늘은 5월 중순~6월 중순까지는 충분히 물을 대주어 마늘의 비대가 정상적으로 이루어지도록 관리해야 한다(남상식, 2003). Blackman 등(1985)은 적정 수분관리는 마늘 재배에서 매우 중요한

*전남대학교 농업생명과학대학(농업과학기술연구소, ksyoon@chonnam.ac.kr)

**전남대학교 대학원

***농업과학기술원 환경생태과

****전남대학교 농업과학기술연구소

*****농업기반공사 농어촌연구원

요인 중 하나라고 했으며, 수분 스트레스에 대한 식물 반응은 식물체 외부의 수분 퍼텐셜이 약간만 낮아져도 세포의 생장은 현저하게 낮아지고 줄기와 뿌리 생장의 지연을 초래한다고 하였다. 따라서 고품질 마늘 생산을 위해서는 마늘 생육에 적절한 토양수분 관리가 필연적이다.

하지만, 국내에서 마늘의 생육과 품질에 미치는 토양수분관리 효과에 대한 연구 결과는 그리 많지 않다. 황재문(1988)은 마늘에 있어서 파종 후의 온도와 습도조건이 휴면과 구비대에 미치는 영향을 연구하였다. 최진규 등 (1980)은 한지형 마늘을 대상으로 10, 20, 30mm를 5일 및 10일 간격으로 관개한 경우와 자연강우 상태로 방임한 경우 관개량 및 관개시기가 마늘의 생육 및 수량에 미치는 영향을 조사하였다. 연구 결과 건물중은 관개 간격간 차이보다는 관개량간 차이가 현저하였고, 관개량이 많을수록 뿌리, 구, 인편등의 증가가 많았다. 특히 10일 간격 30mm 처리에서 생육결과가 가장 좋았다고 보고하였으며, 5~6 월의 경우 증발산량이 많으므로 관개 간격을 5일 정도로 하는 것이 적정할 것으로 제시하였으며, 다양한 품종과 토양 기상조건에서의 마늘 품질과 토양수분 관계에 대한 연구가 필요함을 역설하였다.

작물의 소비수량은 작물이 정상적으로 생육하며 좋은 품질과 수확을 많이 낼 수 있는 상태에서 소비되는 수분량으로 작물에 영향을 미치는 수분량은 증발산량, 침투량, 모관상승량, 유효수량 등 다양한 요소로 구성되어 있으나, 발관개 계획시 이들 요소를 전부 측정할 수 없어 편의상 증발산량만을 Braney-Criddle식이나 Penman-Monteith식과 같은 계산식에 의해 계산하여 발관개 계획에 활용하고 있다(농어촌진흥공사, 1997). 하지만 이러한 이론식은 기준작물의 증발산량을 산정하는 것으로 실제 대상

작물에 적용하기 위해서는 각 작물의 특성과 토성을 고려한 작물계수가 필요하다. 하지만 국내에서 마늘의 작물계수를 산정한 예는 찾아보기 어렵다. 마늘과 같은 발작물에 필요한 수분의 공급은 우리나라의 경우 대부분 강우에 의하여 이루어지지만 자연의 강우만으로는 이러한 발작물의 수분요구량을 충분히 충족시킬 수 없으므로 발관개는 유효토층 내에서 소비된 토양수분의 감소량을 공급하는 보급관개 성격을 가지고 있다. 외국의 경우도 강수량이 많은 지역에서 보조관개를 실시하고 있으며, 이때 작물생육저해를 가져오는 한계 토양 수분치를 설정하고 토양수분이 한계치 이하가 되지 않도록 관리하고 있다^{6,7,8}. 또한, 농부들이 현장에 적용할 수 있을 정도의 쉬운 관개계획 설정기법 등이 보급되었다. 하지만, 우리나라의 경우 이러한 합리적인 관개관행이 확립되어 있지 않고, 생산자들의 경험에 의존하여 발관개가 이루어지고 있다.

무안, 신안 등 전남 해안지역에서는 영산강 IV 단계지구 사업으로 발관개를 위한 충분한 용수원이 확보될 예정으로 과거에는 이 지역 발관개에 필요한 용수원의 제약 때문에 고려되지 않았던 관개기법과 발작물의 수확량과 품질개선을 위한 토양수분관리방법이 규명이 요구되고 있다. 본 연구에서는 영산강 IV단계 지역의 후작으로 많이 재배되는 마늘의 물소비 기구와 생육관계를 규명하여 발관개 용수량 산정을 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 시험포장 및 영농현황

본 시험은 전라남도 무안군 청계면 청천리에 위치한 농촌진흥청 목포시험장에서 실시하였으며,

시험구는 전체면적(2.75m×55m, 110m²)에서 무관개, 10, 20, 30mm 관개 처리구로 분할(2.0m × 4.7m, 9.18m²)하여 2반복으로 배치하여 수행하였다. 시험구의 토양특성을 살펴보면, 모래, 실트, 점토가 40.4, 43.7, 15.9%를 차지하고 있었으며 미국 농무성의 삼각좌표법에 의하여 분류한 결과 양토에 해당하는 것으로 나타났다. 마늘 품종은 남도마늘을 선정하여 2002년 9월 25일 파종하여, 10월 27일 출현하였다. 파종방법은 지붕 개폐형 비닐하우스 시설내에

서 난지형인 남도마늘 4~6g 정도의 인편을 재식거리 18×11cm 백색투명 유공비닐(15공)에 파종 하였으며, 10월부터 월동기인 2003년 2월까지는 포장 상태와 동일한 조건으로 관리하고 3월 10일부터 강우시는 비닐하우스 지붕을 닫아 외부로부터의 수분공급을 제한하면서 마늘 표준재배법에 준하여 재배하였다.

시험포장에 설치된 측정시설로는 관개량을 측정하기 위해 각 처리구별로 계량기 8조와 깊이 별 토양수분 함량을 측정하기 위해 TDR 관측공 8조, 표면 토양수분 함량을 측정하기 위해 측정 센서가 2가닥 30cm stainless steel rods로 구성되어 있는 다공성 도체의 water content reflectometer(CS616-L100, Campbell Sci. Canada)를 사용하여 표토층 내의 용적수분함량을 1시간 단위로 datalogger system (CR10X, Campbell scientific Inc.)으로 모니터링 하였다. Fig. 1은 관개시설 전경과 TDR 관측공 전경을 나타내고 있으며, Fig. 2는 표층 토양수분 측정센서와 자료수집장치 전경을 나타내고 있다.

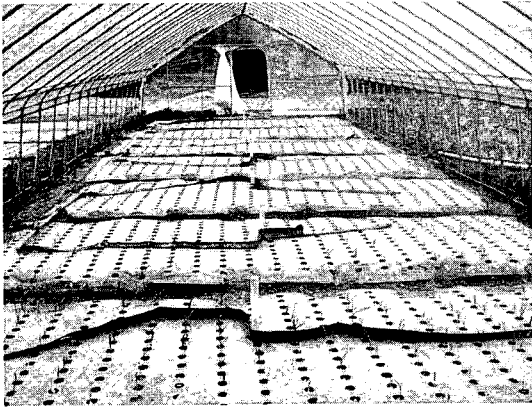


Fig. 1. View of experimental green house and irrigation system

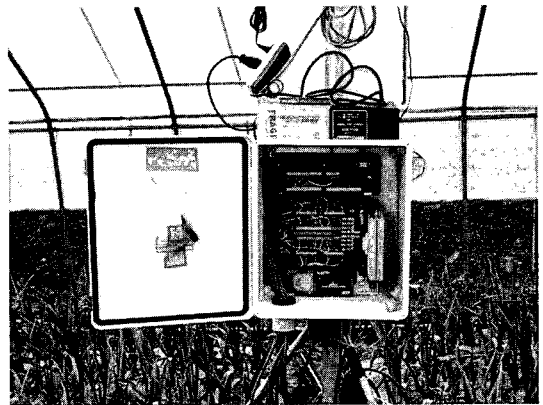


Fig. 2. Soil moisture measuring tube and data logger for soil moisture data collection

Table 1. Meteorological data

	2002				2003				
	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.
Temperature (°C)	20.5	14.1	7.9	3.4	-0.4	2.6	5.7	12.5	17.7
Relative humidity (%)	82.4	75.0	69.6	77.4	77.3	79.0	72.4	72.4	76.0
Daylight hours (hr)	170.6	164.7	139.0	115.2	129.8	128.8	177.1	177.1	192.8
Evaporation (mm)	104.1	88.2	26.3	30.7	29.1	39.1	60.2	60.2	102.6
Windspeed (m/s)	0.8	1.1	1.6	1.2	1.5	1.1	1.4	1.4	1.2

2. 기상

농촌진흥청 목포시험장에서 관측한 2002년 9월 1일~2003년 5월 31일까지의 기상개황은 Table 1과 같다. 2002년 9월 1일부터 2003년 5월 31일까지의 기상현황을 보면, 월평균 기온은 $-0.4\sim 20.5^{\circ}\text{C}$ 이고, 증발량은 563mm이고, 월평균의 경우 26.3~104.1mm 관측되었다. 월평균 상대습도는 69.6~82.4%이고, 월평균 일조시간은 2003년 1월 128.8hr에서 2003년 5월 192.8 hr이었고, 월평균 풍속은 0.9~1.5m/s로 관측되었다.

3. 관개방법 및 토양수분측정

관개량은 처리구별면적 \times 처리구별 관개 깊이를 산정하여 관개하였으며, 관개 시기는 마늘의 인편분화가 시작되는 3월 하순에 TDR 방식을 이용한 용적측정에 의한 토양수분 함량이 25% 수준일 때, 관개량을 30mm, 20mm, 10mm 그리고 무관개로 설정하여 관개하였다.

관개방법은 지하수를 이용하여 각 처리구에 수도용 계량기를 부착하고, 1.8m 이랑 중앙에 다공의 분수호스를 연결하였다.

Fig. 3은 깊이별 토양수분 측정을 위한 TDR 관측 전경을 나타내고 있으며, TDR 관측공은 마늘뿌리의 생장길이가 짧으므로 60cm 깊이까지 매설하여 프로브를 이용 20cm 간격으로 평균 토양 수분을 측정하였다. 토양수분 측정간격은 보통 3~5일 간격으로 실시하였다.



Fig. 3. Measuring volumetric soil water contents with TDR

Table 2. Irrigation amount for garlic

(Unit : mm)

Date	Treatment	None	10 mm	20 mm	30 mm
2002-10-10*		30*	30*	30*	30*
2003-03-27		0	10	20	30
2003-04-08		0	10	20	30
2003-04-19		0	10	20	30
2003-05-01		0	10	20	30
2003-05-12		0	10	20	30
Total		30	80	130	180

* Irrigation for sprouting

4. 관개량

관개량은 처리구별면적 × 처리구별 관개 깊이를 산정하여 관개하였으며, 10mm 관개 처리구는 0.094m³을 분수호스를 통해 관개속도 4.087ℓ/min, 20mm 관개 처리구는 0.184 m³을 관개속도 4.089ℓ/min, 30mm 관개 처리구는 0.282 m³을 관개속도 4.338ℓ/min로 공급하였다. 관개의 반복은 30mm 관개 토양의 용적수분함량이 25% 수준일 때 동일한 방법으로 관개를 하였다. 2002년 10월 10일은 전체적으로 마늘의 발아를 위해 전 처리구에 30mm의 관개를 실시하였다. Table 2는 각 처리구별 관개일자와 관개량을 나타낸다.

III. 결과 및 고찰

1. 토양수분 함량 변화

Fig. 4~Fig. 6은 조사기간 중 관개량에 따른 처리구의 깊이별 토양수분함량 변화를 보여주고 있다. 0~20cm 구간은 무관개의 경우 평균 토양수분함량은 20.5%로 관측되었으며, 10, 20, 30mm 관개 처리구의 평균 토양수분함량은 각각 24.7, 26.6, 29.3%로 관측되었다. 또한,

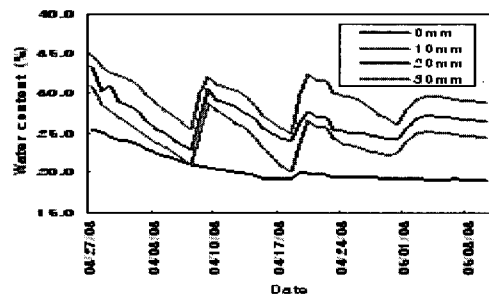


Fig. 4. Changes of volumetric soil water contents in 0~20cm zone

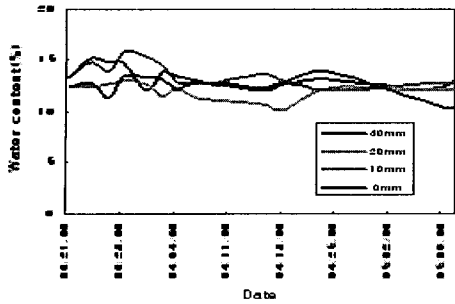


Fig. 5. Changes of volumetric soil water contents in 20~40cm zone

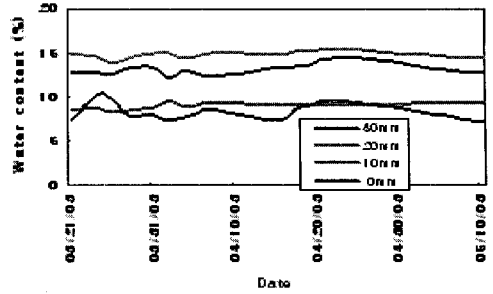


Fig. 6. Changes of Volumetric soil water contents in 40~60cm zone

Fig. 4에서 알 수 있듯이 일별 토양수분 증감 현상이 뚜렷이 나타났으며, 30mm 관개시 토양수분 함량이 가장 높았다. 또한 무관개시 지속적

으로 토양수분함량이 감소하는 경향을 보였다.

20~40cm 구간은 무관개, 10, 20, 30mm 평균 토양수분함량은 각각 12.4, 13.6, 12.0,

Table 3. Soil moisture used by garlic

(Unit : mm)

Date \ Treatment	None	10 mm	20 mm	30 mm
3.21	0.0	0.0	0.0	0.0
3.22 ~ 3.24	0.2	0.4	2.0	0.9
3.25 ~ 3.26	3.9	6.9	1.1	1.5
3.27 ~ 3.28	0.9	4.7	6.3	2.9
3.29 ~ 3.31	2.8	6.9	6.1	9.9
4.01 ~ 4.02	2.3	8.1	6.9	5.1
4.03 ~ 4.04	5.0	5.9	4.0	4.6
4.05 ~ 4.07	2.6	5.5	6.1	5.9
4.08 ~ 4.15	3.7	11.1	10.1	10.1
4.16 ~ 4.18	4.5	7.4	7.4	8.3
4.19 ~ 4.24	1.3	6.2	4.7	5.6
4.25 ~ 5.09	12.2	6.8	15.8	26.7
5.10 ~ 5.14	1.5	1.3	2.1	4.9
Total	40.9	71.2	72.6	86.4

13.7%로 관측 되었으며, 0~20 cm 구간과 달리 관개량별로 뚜렷한 차이를 보이지는 않았다.

40~60cm 구간은 무관개, 10, 20, 30mm의 평균 토양수분함량은 각각 8.1, 8.9, 14.8, 13.1%로 관측되었다.

2. 토양수분 소비량

Table 3은 마늘의 관개별 처리구의 토양수분 소비량을 나타낸 것이다. 관개별 처리구의 토양수분 소비량을 살펴보면, 30mm 관개시 토양수분 소비량이 가장 많은 것으로 관측되었고, 시기별 토양수분 소비량은 마늘의 구비대 최성기인 4월 중순부터 5월 상순에 가장 많은 소비량을 보였으며, 30mm 관개구의 경우 26.7mm가

소비되었음을 알 수 있었다.

3. 마늘의 수확량 조사

마늘의 각 처리구에 대한 생육시기별 초장 및 엽면적의 변화를 알아보기 위해 2주 간격으로 마늘의 최고 생육성기인 2003년 4월 30일의 관개량별 초장, 엽초장, 엽초경, 엽수, 엽면적 특성을 측정하였으며, 그 결과는 Table 4와 같다. 초장의 경우 30mm 관개 처리구의 경우가 무관개 처리구 보다 14.1cm가 더 큰 것으로 보아 관개의 효과가 있는 것으로 나타났고, 10mm 관개 처리구와 20mm 관개 처리구의 경우는 초장에 대해 별 차이가 없는 것으로 조사되었다.

엽면적의 경우 마늘 최고 생육성기인 4월 30

Table 4. Effect of different irrigation level on the vegetative growth of garlic

Irrigation level	Plant height (cm)	Leaf Plant height (cm)	Leaf sheath diameter (mm)	No. of leaves (per plant)	Leaf area (cm ²)
30mm	96.1	42.0	19.2	7.9	492.3
20mm	91.5	39.4	18.5	7.9	463.7
10mm	90.3	39.3	17.9	7.8	414.8
0mm	82.0	33.9	16.0	7.5	392.0

Table 5. Characteristics of bulb and yield of garlic under different irrigation level in field

Irrigation level	Leaf+leaf sheath fresh weight (g/plant)	Leaf+leaf sheath dry weight(A) (g/plant)	Bulb fresh weight (g/plant)	Bulb dry weight (B) (g/plant)	B/A (%)
30mm	103.6	13.4	14.9	3.4	25.4
20mm	90.8	12.2	13.4	3.2	26.2
10mm	86.9	11.6	13.3	3.1	26.7
0mm	66.0	8.0	11.6	2.9	36.3

일의 결과를 보면 30mm 관개 처리구의 경우가 무관개 처리구보다 엽면적이 1.26배나 더 큰 것으로 조사되었고, 10mm 관개 처리구와 20mm 관개처리구의 경우는 엽면적에 대해 별 차이가 없는 것으로 조사되었다. 시기별로는 4월 16일 이후에 무관개의 경우는 엽면적의 변화가 그리 크지 않았지만, 관개를 실시한 처리구에서는 급격한 성장을 보였다.

엽초장의 경우 10mm 관개처리구와 20mm 관개처리구는 차이가 크지 않았고, 무관개와 10mm 관개 처리구 사이에는 4.4cm의 차이를 보이고 있고, 30mm 관개 처리구와는 8.1cm의 차이를 보이는 것으로 조사되었다. 엽수의 경우는 관개 처리구나 무관개 처리구가 그다지 큰 차이는 보이지 않는 것으로 조사되었다.

처리구당 1평(1.8m × 2m)을 수확하여 관개량 별 식물체의 생체중 및 건물중을 조사한 결과는 Table 5와 같다. 구를 제외한 주당 생체중의 경우 관개량의 차이가 뚜렷하게 나타났는데, 무관개 처리구 보다 30mm 관개 처리구의 경우 1.57배 정도 더 무거운 것으로 조사되었고, 건물중의 경우는 무관개 처리구와 10mm 관개 처리구의

경우 10mm 처리구가 3.6g 정도 더 무거운 것으로 조사되었고, 10mm 관개 처리구와 20mm 관개 처리구는 별로 차이를 보이지 않았다.

마늘 인편 구의 경우 생체중은 무관개 처리구와 관개 처리구 사이에 뚜렷한 차이를 보였으며, 구 건물중의 경우는 큰 차이를 보이지 않았다. 구 건물중과 구를 제외한 주당 건물중과의 비는 관개를 실시한 처리구 사이에는 큰 차이를 보이지 않는 반면, 무관개 처리구와는 큰 차이를 보이고 있다.

4. 마늘의 작물계수 산정

무안지역에 위치한 시험포장에서의 토양수분 변화 자료로부터 순별소비수량을 구하였으며, Penman-Monteith에 의해 구해진 잠재증발산량 자료를 이용하여 순별 작물계수를 산정하였다. 그 결과는 Table 6과 같다. 마늘의 생육기간인 3월 하순의 작물계수는 0.51, 4월 평균 작물계수는 0.57, 5월 상순의 작물계수는 0.67로 산정되었다. 영산강 IV단계 사업 계획 수립시 적용하였던 순별작물계수와 비교하여 보면 전체

Table 6. Crop coefficient of garlic

Date	Actual evapotranspiration (ETa, mm/day)	Pontential evapotranspiration (PET, mm/day)	Crop coefficient (Kc)	Crop coefficient used for design* (Kc)
The last ten days of March	1.13	2.22	0.51	0.70
Early ten days in April	1.39	2.70	0.51	0.70
The middle ten days of April	1.61	3.05	0.53	0.70
The last ten days of April	2.20	3.22	0.68	0.80
Early ten days in May	2.43	3.65	0.67	0.90

* : Feasibility study report of Youngsan River Irrigation Project District IV (2000)

적으로 본 연구의 작물계수가 작은 것으로 나타났다.

IV. 요약 및 결론

본 시험은 관개량이 토양수분과 마늘생육에 미치는 영향을 파악하기 위해 전라남도 무안군 청계면 청천리에 위치한 농촌진흥청 목포시험장에서 실시하였으며, 난지형 남도마늘을 선정하여 11일 간격으로 무관개, 10, 20, 30mm 관개를 실시하였다.

1. 조사기간중 관개량에 따른 처리구의 토양수분함량 변화는 0~20cm 구간에서 토양수분 증감현상이 뚜렷이 나타났고, 20~40cm 구간 및 40~60cm 구간에서는 관개량별 토양수분함량 변화에는 차이가 뚜렷하지 않았다. 따라서, 대부분의 토양수분이 0~20cm 구간에서 이루어 짐을 알 수 있었다.

2. 관개별 처리구의 토양수분 소비량은 관개량이 많을때 토양수분 소비량이 가장 많은 것으로 관측되었고, 시기별 토양수분 소비량은 마늘의 구비대 최성기때인 4월 중순에서 5월 상순에 가장 많은 토양수분 소비량이 나타난 것으로 관측되었다.

3. 순별로 살펴보면 3월 하순, 소비수량은 1.1mm/day 이었고, 5월 상순의 경우는 2.43mm/day 이다. 조사기간 평균 소비수량은 1.75mm/day로 관측되었다.

4. 관개량에 따른 마늘의 수확량은 구를 제외한 주당 생체중의 경우 관개량별 차이가 뚜렷이 나타났으며, 30mm 관개 처리구의 주당 생체중이 무관개 처리구 보다 1.57배 정도 더 무거운

것으로 조사되었다. 이는 관개량이 마늘의 생육에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되며, 고품질 마늘의 생산을 위해서는 원활한 관개용수 확보가 필요할 것으로 판단된다.

5. Penman-Monteith 방법으로 2003년 잠재증발산량을 산정하여 마늘에 대한 작물계수를 산정한 결과, 마늘의 경우는 3월 하순 0.51, 4월 평균 0.57, 5월 상순이 0.67로 계산되었고, 영산강 IV단계 사업 계획 수립시 적용하였던 작물계수와 비교하여 보면 전체적으로 본 연구의 실측 작물계수가 15%~27% 정도 작게 산정되었다. 따라서 보다 정확한 작물계수 추정을 위해서는 장기적인 관측이 필요하다.

참고문헌

1. 남상식. 2003. 수분 스트레스가 마늘의 구 비대에 미치는 영향. 전남대학교 박사학위 논문.
2. 농림부, 농어촌진흥공사, 1997. 발경지정리 방안과 효율적인 관개방법 개발연구.
3. 최진규, 반채돈, 권영빈. 1980. 관수량 및 관수시기가 마늘의 생육 및 수량에 미치는 영향. 農試報告 22(園藝) : pp.20-33.
4. 황재문. 1988. 마늘에 있어서 파종전후의 온도와 습도조건이 휴면과 구비대에 미치는 영향. 서울대학교 박사학위 논문.
5. Blackman, P.G and Davies W.J. 1985. Root to shoot communication in maize plants and the effect of soil drying. J.Exp. Bot. 36: pp.39-48.
6. English, M., and B. Nakamura. 1989. Effect of deficit irrigation. ASCE. J. Irri. and Drain. Eng. 115(2): pp.172-184.
7. Tyson, T.W. and Curtis L.M. 1990. Scheduling irrigation in the Southeast with minimum inputs. In: Proc. The third national irrigation symposium: Visions of the future. ASAE, pub. 04-90, pp.688-691.
8. Yoon, K.S., K.H. Yoo, T.W. Tyson, and L.M. Curtis. 1993. Farmers' irrigation practices in high rainfall area- Effects on soil moisture. Irrigation and Drainage Systems 7: pp.221-229.