

토양수분량의 평가에 의한 한국의 가뭄

전 경 은

세종대학교 지구과학과
(1994년 9월 5일 접수)

The Drought based on the Assessment of Soil Moisture in Korea

Kyoung-Eun Chun

Dept. of Earth Science, Sejong University, Seoul 133-747, Korea
(Manuscript received 5 September 1994)

Abstract

The assessment for a degree of drought has been carried out based on the soil moisture index in Korea. The soil moisture index(I_m) was calculated assuming of constant evapotranspiration until wilting point as $I_m = w_2/w_f \cdot 100$. The soil moisture content(W_2) at the final of a period is obtained from $W_2 = Pe + W_1 - E$, here the effective precipitation amount is Pe , evapotranspiration E , and the soil moisture content at the beginning of a period is W_1 . The field capacity(W_f), as a mean value of fine sandy loams, was reduced to 92 mm/ft when we accept the wilting point and the available soil moisture content of 42 mm/ft, respectively. The drought begins in Korea when the soil moisture index drops to less than 50%. The value coincides the isoline of 11 or more consecutive days without measurable precipitation. The soil moisture index frequently drops in the northern part of Youngnam area and Honam area so that both areas are well known as the areas of drought.

Key word : Droughts, Soil Moisture Index.

1. 서 론

매년 되풀이되고 있는 기상재해 중 가장 큰 비중을 차지하는 재해는 냉해, 홍수해, 그리고 한해라고 할 수 있다. 냉해는 기온의 저하에 기인하며, 홍수해와 한해는 강수량의 과다 혹은 과소에 의해 발생한다. 우리나라는 연강수량이 800mm에서 1500mm정도로 비교적 많아 지구 전체로 보면 다 우역에 속하며, 계절적으로 강우가 여름에 편중되어 있어 홍수와 같은 수해를 많이 입는다. 또 한

편으로는 강수량의 계절적인 편재와 강수변동률이 크기 때문에 가뭄을 자주 일으켜 한해가 큰 실정이다. 1971년부터 1980년까지의 10년동안 농업부문의 총 기상재해중 홍수해는 연평균 122.5ha(141.3 M/T), 냉해는 78.9ha(133.5 M/T), 한해는 18.7ha(19.9 M/T), 기타는 26.1ha(24.6 M/T)이었다. 한해가 홍수해나 냉해보다는 그 규모가 적지만 최근에 가뭄이 심했던 1982년에는 피해면적이 59.3ha, 피해량이 174.6M/T에 달하기도 하였다(중앙기상대, 1989).

가뭄에 대한 정의는 다양하다. 수분의 부족이 가뭄발생의 기본조건이어서 단순히 무강수의 연속 일수, 강수량의 평년편차 처럼 강수의 부족으로 가뭄을 정의하기도 하지만 가뭄의 개념은 절대적이라기 보다는 상대적이어서 기후요소의 복합에서 발생하는 복잡한 개념이다. 따라서 연구자의 연구 목적에 따라 여러가지로 정의하고 있다(楊辰錫, 1987, 변희룡과 한영호, 1994). 그 중 중요한 것을 열거하면 다음과 같다.

1) 무강수 계속일수에 의한 정의 - 오래전부터 사용되어온 방법으로 일강수 1.0mm이하로서 무강수 계속일수가 15일(Cole, 1933), 20일(金光植, 1968)등을 가뭄으로 보았고, 일강수 5.0mm이하로서 무강수 계속일수가 9일(李舜鐸, 1971), 10일(李炳坤과 金日坤, 1979), 20일(Condron, 1944)등을 가뭄으로 정의하고 있다. 이때 가뭄의 정도는 물론 각각 다를 것이다.

2) 평년강수량에 대한 백분율(또는 변동률)에 의한 정의 - 이 가뭄의 정의는 지역의 기후특성과 수자원의 이용정도에 따라 차이가 많다. 예를 들면 연강수량이 평년 강수량의 70%이하(Chen과 Shen, 1980)일 때를 가뭄으로 보았다. 또한 난후기의 강수량이 평년값의 75%이하이면 가뭄, 50%이하이면 심한 가뭄으로 정의하였다(Bahlme와 Mooley, 1980).

3) 강수량과 기온 또는 증발산량과의 관계에 의한 정의-이 정의는 물수지의 개념으로 표현한 것으로서, 어떤 지역이 기후학적으로 건조(또는 습윤)한가를 결정하는데 쓰이고 있다. 즉 각 연구자가 개발한 공식에 의해 얻어진 값의 크기에 따라 건조, 습윤정도를 정의한다. 예로서 영국의 Penman (1948, 1961), 미국의 Thornthwaite(1931), Palmer (1965) 등을 들 수 있다. 그리고 우리나라에서 Palmer의 방법으로 가뭄의 정도를 연구한 것도 있다(기상연구소, 1993; 유경희, 1985).

4) 대기중의 습도와 풍속과의 관계에 의한 정의 - 특히 대기의 건조에 의해 화재의 위험이 커지는 경우에 화재에 대한 경각심(주의보, 경보)을 주기 위해 기상청에서는 실효습도가 50%이하 이고 일최저습도가 30%이하이며 일최대풍속이 7m/s이상의 상태가 2일 이상 계속되면 매우 건조하다고 판

단하여 건조주의보를, 앞의 값들이 각각 40%이하, 20%이하, 10m/s이상일 때는 극히 건조하다고 판단하여 건조경보를 발표한다(기상청, 1993).

5) 수면의 수위 감소에 의한 정의 - 이것은 하천수, 저수지, 지하수 등 수위의 감소로 평가하는 방법이다.

6) 토양의 수분량에 의한 정의 - 가뭄의 결과로서 토양수분이 고갈되고 이에따라 작물이 피해를 입게 되므로 토양수분량으로 가뭄의 정도를 나타낸다. 토양수분을 측정하려면 일정 부피의 흙을 채취하여 건조시키기 전과 후의 질량차를 구하거나, 중성자수분계(neutron moisture meter)로 비파괴측정이 가능하지만 이들 모두가 토양성질에 따라 토양수분 측정값이 달라질 수 있다는 단점을 극복하기 어렵고, 흙을 채취, 건조하여 측정하는 경우는 파괴측정이어서 측정환경이 계속 바뀌며, 오차가 크게 발생할 가능성 있다. 중성자수분계의 경우는 비파괴측정이라는 장점은 있지만 중성자를 다루기 위해서 방사선 취급면허를 필요로 하는 어려움이 따른다.

이 연구에서는 무강수 계속일수의 발생빈도를 구하여 우리나라의 가뭄정도를 파악한 연후에 이와 비교하여 토양수분량의 평가에 의해 가뭄을 분석하고자 한다. 작물의 생장에 관계되는 토양수분을 직접 측정하지 않고도 강수량의 시계열과 증발량의 시계열에 의해 현재 토양중의 수분량을 파악 할 수 있는 토양습윤지수를 마련하여, 이것을 근거로 우리나라 한밭의 진행정도를 임의의 현 시점에서 정의하는 방법을 모색하고자 한다.

2. 우리나라의 가뭄빈도

2.1. 무강수 계속일수

기상학적으로 가뭄을 정의하는데 보편적으로 무강수 계속일수를 이용한다. 지표로부터의 증발량(또는 증발산량)의 크기에 따라 가뭄의 상황이 크게 영향을 받기 때문에 그만큼 오차가 큼에도 불구하고 보편적으로 사용되고 있다. 여기서 무강

Table 1. Mean annual frequency of consecutive days without measurable precipitation.

Station	≥ 11 days	≥ 16 days	≥ 21 days	≥ 26 days	≥ 31 days	≥ 36 days	≥ 41 days	≥ 46 days	No.of observed years
Sokcho	5.6	2.1	1.1	0.5	0.4	0.2	0.2	-	13
Chunchon	3.9	1.3	0.1	-	-	-	-	-	15
Kangnung	4.7	2.0	1.0	0.4	0.1	-	-	-	30
Seoul	3.9	1.2	0.3	0.1	0.0	-	-	-	30
Inchon	4.7	1.4	0.6	0.2	0.1	-	-	-	30
Ullungdo	2.2	0.1	0.1	-	-	-	-	-	30
Suwon	4.2	1.3	0.4	0.1	0.1	-	-	-	17
Sosan	3.7	1.2	0.5	0.1	-	-	-	-	13
Uljin	5.1	2.2	1.1	0.8	0.6	0.3	-	-	9
Chongju	3.9	1.1	0.5	0.3	0.1	-	-	-	14
Taejon	2.8	0.8	0.3	-	-	-	-	-	12
Chupung	3.0	0.7	0.2	0.1	-	-	-	-	30
Pohang	5.8	2.1	1.1	0.5	0.2	-	-	-	30
Kunsan	3.3	1.1	0.6	0.1	-	-	-	-	13
Taegu	7.1	3.2	1.0	0.5	0.2	0.1	-	-	30
Chonju	3.8	1.0	0.3	0.2	0.0	-	-	-	30
Ulsan	5.6	2.4	0.9	0.4	0.0	-	-	-	30
Kwangju	3.8	0.9	0.3	0.1	-	-	-	-	30
pusan	6.0	2.7	1.2	0.4	0.1	-	0.0	-	30
Chungmu	5.7	2.8	1.2	0.7	0.3	-	-	-	13
Mokpo	4.0	1.2	0.3	0.2	0.1	-	-	-	30
Yosu	5.5	2.0	1.1	0.5	0.2	0.1	-	0.0	30
Cheju	3.1	1.0	0.1	-	-	-	-	-	30

수일이란 특별한 언급이 없는한 “0.1mm이하의 강수가 있었거나 강수가 전혀 없었던 날”을 의미한다. 편의상 <0.1mm이하 무강수일>로 표기하기로 한다. 우리나라에서 1년중 무강수일이 장기간 계속되기 쉬운 때는 강수량이 적은 한후기이다(중앙기상대, 1984). 그중 겨울철에는 경작 작물이 거의 없기 때문에 농업부문의 피해는 거의 무시할 정도이다. 그리고 겨울에서 봄으로 이어지는 때는 재배중인 농작물이 적고 또한 기온이 비교적 낮아 무강수일이 계속되어도 증발량이 적기 때문에 실제적인 피해가 적다. 또한 가을에서 겨울로 이어지는 환절기의 경우 농작물의 결실기로서 강수가 적을수록 좋은 면이 있고 추수 후의 가뭄은 농작물에 피해를 입히지 못한다. 이러한 시기의 가뭄은 생활용수 공급에 지장을 미치기도 한다. 그러나 봄에서 여름으로 이어지는 시기에는 종종 북태

평양 고기압의 이상발달로 장마가 예년보다 늦게 시작되거나 혹은 장마기간의 강수량이 평년의 경우보다 매우 적어 무강수일이 계속되면 농업기상학적으로 극심한 가뭄피해를 나타낸다.

우리나라 각지의 무강수 계속일이 11일 이상 계속되는 연평균 빈도 분포를 나타낸 것이 Fig 1이다. 이 그림에서 보면 11일 이상 무강수 계속일수는 연평균 3회에서 7회로서 동해안으로부터 영남지방을 거쳐 남해안으로 이어지는 지역이 비교적 빈도가 높다. 그리고 무강수 계속일수 21일 이상의 경우는 동해안으로부터 전국적으로 남해안에 이르는 지역이 1년에 평균 1회, 서해안이 0.5회 정도로서, 나타나는 유형은 11일 이상의 경우와 비슷하다(Table 1 참조).

한편 강수가 있었다 하더라도 그 양이 많지 않을 때는 강수가 작물의 뿌리가 뻗어 있는 깊이까

Table 2. Mean annual frequency of the consecutive days with ≤ 5.0 mm precipitation.

Station	$\geq 11da$ ys	$\geq 16da$ ys	$\geq 21da$ ys	$\geq 26da$ ys	$\geq 31da$ ys	$\geq 36da$ ys	$\geq 41da$ ys	$\geq 46da$ ys	$\geq 51da$ ys	$\geq 56da$ ys	No.of observed years
Sokcho	10.2	5.2	2.8	1.6	1.2	1.2	0.9	0.6	0.5	0.3	13
Chunchon	8.5	5.5	3.3	2.6	1.8	1.3	1.2	0.7	0.7	0.5	15
Kangnung	9.5	6.0	3.5	2.5	1.7	1.0	0.8	0.5	0.3	0.1	30
Seoul	7.4	4.4	3.1	2.1	1.5	1.1	0.8	0.5	0.4	0.2	30
Inchon	9.9	6.3	3.9	2.8	1.9	1.5	1.0	0.6	0.5	0.4	30
Ullungdo	8.4	4.1	2.0	1.0	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	30
Suwon	9.3	5.8	4.3	2.6	1.6	1.3	0.8	0.8	0.5	0.4	17
Sosan	9.1	5.5	3.7	2.4	1.9	1.5	0.9	0.8	0.8	0.5	13
Chungju	9.1	5.2	3.7	2.4	1.6	1.2	0.7	0.7	0.6	0.5	14
Taejon	9.2	5.0	2.8	1.9	1.2	1.0	0.6	0.5	0.4	0.2	12
Chupung	8.9	4.8	3.1	1.8	1.2	1.0	0.5	0.3	0.3	0.2	30
Pohang	10.4	6.1	3.7	2.2	1.2	0.8	0.5	0.4	0.3	0.2	30
Kunsan	10.2	5.5	3.7	2.4	1.4	1.2	0.8	0.7	0.4	0.2	13
Taegu	10.0	6.3	4.0	2.6	1.6	1.3	1.0	0.7	0.6	0.4	30
Chonju	9.4	5.9	2.8	1.9	1.1	0.9	0.5	0.3	0.2	0.2	30
Ulsan	10.2	5.9	3.5	2.1	1.4	0.9	0.5	0.2	0.2	0.1	30
kwangju	10.0	5.5	3.0	2.0	1.3	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1	30
Pusan	9.9	5.6	3.5	2.0	1.1	0.8	0.4	0.3	0.2	0.2	30
Chungmu	9.4	5.2	3.2	1.8	1.2	0.9	0.7	0.3	0.2	0.2	13
Mokpo	7.8	3.9	3.7	2.3	1.4	0.9	0.6	0.4	0.2	0.2	30
Yosu	10.1	6.3	3.2	2.1	2.1	0.9	0.7	0.4	0.3	0.2	30
Cheju	9.3	4.6	2.2	1.3	0.8	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	30

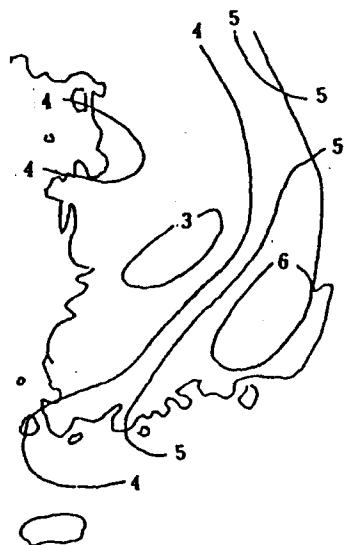
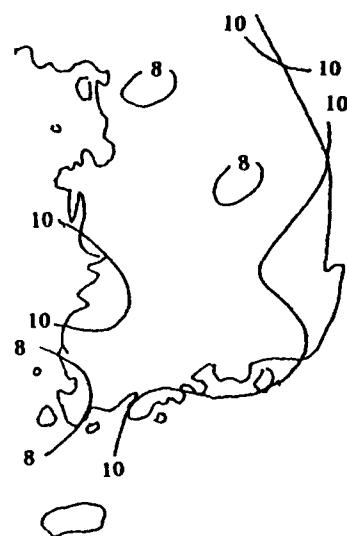


Fig 1. Isolines of occurrence frequency of 11 or more consecutive days without measurable precipitation.

Fig 2. Isolines of occurrence frequency of ≥ 11 consecutive days with $\leq 5.0\text{mm}$.

지 도달되지 않아 농작물의 생육에 별로 도움이 되지 못할 때가 많다. 이러한 현상은 농작물의 종류, 재배시기, 그리고 생육시기 등에 따라 차가 있겠지만 보통 강수량 5mm이하 일 때이다. 이러한 한계 강수량인 5mm이하 무강수 계속일수를 나타낸 것이 Table 2이다. 이 표에 의하면 5mm이하 무강수 계속일이 11일이상의 경우, 비교적 고르게 분포되어 전국적으로 8회에서 10회 정도(Fig 2 참조)이며 21일 이상의 경우는 전국적으로 2회에서 4회 정도이므로 지역적인 차이는 크지않다.

2.2. 강수량 변동률

우리나라의 강수는 대부분 여름철에 편중되어 여름철의 강수가 1년 총강수량의 50%에서 60%정도 이다. 다행히 대부분의 농작물이 이 기간에 재배되고 있어서 이 기간에 평년강수량 정도의 강수가 내린다면 농작물 재배에 별다른 어려움이 없다. 그러나 우리나라의 강수는 해에 따라 또는 시기에 따라 강수량의 변동률이 커서 가뭄을 많이 겪는 편이다. 우리나라의 강수변동률은 Table 3에서 처럼 월강수량이 적은 겨울철과 가을철에 70%에서 80%로 크고 여름철과 봄철에는 50%에서 60%로서 비교적 적은 편이다. 그러나 여름철의 초입인 6월의 강수변동률도 70%정도로 커서 농사

계절중 물이 부족한 현상이 자주 나타난다. 또한 연강수량의 변동률은 대체로 20% 정도이다. 부산, 목포, 울산 등 지역에서는 25%로서 비교적 크게 나타나고 있어 이들 지역의 물 과부족 현상이 다른 지역보다 다소 커질 가능성을 가지고 있다. 여기서 강수변동률은 평균 강수량에 대한 강수량 표준편차의 비를 백분율로 나타낸 것이다.

3. 토양수분량 요소의 결정

3.1. 유효 토양수분량의 결정

농작물의 생육 적합성을 판단하기 위해서 가뭄 정도를 표현하려면 토양수분량을 판단하여야 한다. 그리고 농작물의 생육에 필수요소인 토양수분량은 물수지에서 침투량, 유출량 및 증발산량을 결정하는데 있어서도 중요한 요소이다. 이는 토양수분의 포화도에 따라 침투량, 유출량 및 증발량이 크게 달라지기 때문이다. 가뭄을 토양수분량에 의해 정량적으로 표현하기 위해서는 경지에서의 물수지를 계산하여야 한다. 이를 위해서는 현재의 토양수분량(soil moisture content), 포장용수량(field capacity), 그리고 위조점(wilting point)이 결정되어야 한다. 그러나 이상의 물리량들은 토양

Table 3. Variability of mean monthly precipitation.

Stations	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Kangnung	0.98	0.92	0.57	0.76	0.75	0.73	0.55	0.62	0.67	0.87	0.88	1.00	0.20
Seoul	0.89	1.05	0.83	0.78	0.68	0.84	0.43	0.62	0.73	0.73	0.68	0.71	0.20
Inchon	0.89	1.04	0.89	0.78	0.77	0.77	0.35	0.66	0.87	0.73	0.64	0.75	0.18
Ullungdo	0.59	0.44	0.58	0.49	0.56	0.68	0.54	0.58	0.56	0.67	0.47	0.62	0.24
Chupung	0.89	0.79	0.69	0.55	0.53	0.56	0.45	0.38	0.71	0.69	0.60	0.52	0.17
Pohang	0.84	0.77	0.65	0.50	0.50	0.74	0.64	0.49	0.60	0.79	0.77	0.87	0.21
Taegu	0.89	0.80	0.70	0.51	0.54	0.75	0.52	0.46	0.70	0.79	0.74	0.82	0.19
Chonju	0.82	0.69	0.68	0.67	0.60	0.64	0.51	0.46	0.74	0.62	0.58	0.51	0.19
Ulsan	0.86	0.68	0.68	0.45	0.48	0.78	0.66	0.55	0.76	0.85	0.74	1.03	0.25
Kwangju	0.59	0.67	0.79	0.53	0.54	0.76	0.58	0.51	0.81	0.80	0.70	0.57	0.22
Pusan	0.92	0.77	0.63	0.46	0.53	0.89	0.56	0.66	0.69	0.75	0.76	0.80	0.25
Mokpo	0.64	0.75	0.78	0.46	0.54	0.79	0.63	0.64	0.82	0.83	0.94	0.58	0.24
Yosu	0.89	0.77	0.78	0.43	0.49	0.79	0.55	0.65	0.92	0.85	0.81	0.73	0.21
Cheju	0.47	0.53	0.53	0.37	0.53	0.67	0.57	0.61	0.76	0.79	0.53	0.50	0.19

Table 4. Field capacity and effective soil moisture content at different soil texture (after Shokley, 1956).

Soil texture	Field capacity (mm/ft)	Effective soil moisture (mm/ft)	
		Maximum	Average
Very coarse textured sand (粗砂土)	-	10.00 - 19	12.7
Coarse sands, fine sands loamy sands (細砂土)	43.5	19.1-25.4	20.0
Moderately coarse sandy loams and fine sandy loams (砂壤土)	81.0	25.4-38.1	31.8
Medium textured fine sandy loams, loams, sandy clay loams and silty loams (壤土)	92.0	38.1-58.2	48.3
Moderately fine textured clay loams and silty clay loams (植壤土)	-	44.5-63.5	53.3
Fine textured sandy clays silty clay and clay (植土)	-	35.6-63.5	50.8

의 구조, 피복식물의 종류, 지표면의 형태, 토양의 비옥도등에 따라 큰 차이를 보이기 때문에 어떤 지역을 대표할 수 있는 값을 물리적인 방법으로 측정하기는 힘들며, 측정할 수 있다 하더라도 그 값은 국지적인 특징과 토양의 특성을 나타내는 값일 뿐이다. 토양수분량을 구하기 위해 많은 연구들이 있었지만 이들 토양수분량은 토양의 종류가 다양하게 분포되어 있는 넓은 지역을 대표할 수는 없었다. 우리나라에도 토양수분 관측자료가 부분적으로 축적되어 있지만 토성조사가 이루어져 있지 않아 넓은 지역을 대표하는 값을 추출하기가 힘들다. 따라서 문헌을 토대로 하여 한 지방의 토양수분을 다음과 같이 결정할 수 있다.

토양별 포장용수량을 보면 Table 4와 같이 양토의 92mm/ft로부터 세토의 43mm/ft까지 큰 차이를 나타내고 있다. 그리고 포장용수량으로부터 위조점을 감한 유효수분량도 각 토양별로 평균값이 12mm/ft에서 50mm/ft로 변화폭이 크다. 여기서 깊이를 1ft(약 30.5cm)로 한 것은 작물의 주근군역(主根群域)에 해당하기 때문이다. Fleming (1966)의 경우 근군역을 60cm(2 ft)로 보아 유효수분량을 100mm로 보기도 하였다.

그리고 토양의 종류에 따라 포장용수량과 위조점이 각각 다른 것이 사실이지만 포장용수량으로부터 위조점이 나타나기까지의 기간은 서로 거의 같다고 볼 수 있다. 이것은, 양토나 식양토 등은

포장용수량이 크지만 모세관 작용이 활발하여 토양표면에서 증발이 빠른데 비해 사질토양은 포장용수량이 작은 대신 모세관 작용이 둔하기 때문이다. 위조점의 결정도 작물의 종류, 토양의 성질에 따라 다양하며 연구자마다 조금씩 다르다. Lomas 와 Levin(1979)은 Fig 3과 같이 여러가지 토양의 포장용수량에서 위조점을 구할 수 있는 회귀식을 발표하였다. 또한 Shockley(1958)는 48%를 관개시기로 본 것을 고려한다면 토양수분량이 포장용수량의 50%이하이면 작물 생육에 지장을 초래한다고 볼 수 있겠다.

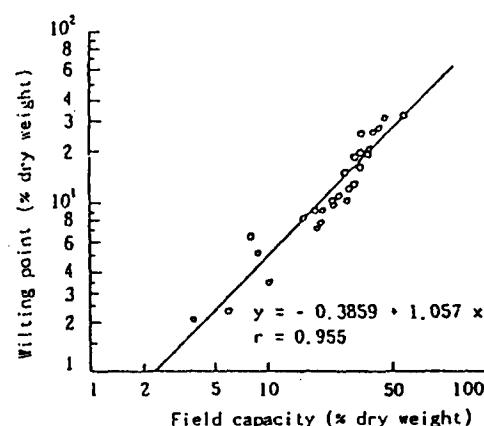


Fig 3. The relationship between wilting point and field capacity in 26 soils in Israel(after Lomas and Levin, 1979).

이 연구에서는 평균 토양을 양토로 보고 이를 기준으로 편리하게 포장용수량을 92mm, 위조점을 50%인 46mm, 유효수분량을 50%인 46mm로 보았다.

3.2 유효강수량의 결정

지면에 떨어지는 강수는 일부가 증발하고 일부는 지표면을 흘러 유출되고 나머지는 지하로 침투하여 지하수를 형성하게 된다. 이들 침투량과 유출량은 토양수분량, 강우강도, 강수지속시간 등의 요인과 지형, 지표면의 퍼복상태, 토양의 종류 등의 인자들에 의해 달라지기 때문에 이들을 평가하는 방법도 다양하다. 강수량 중에서 토양에 보존되는 포장용수량을 제외한 초과분의 침투량은 작물 생육에는 도움이 되지 못한다. 이러한 초과분의 침투량은 유출량과 함께 작물 생육에 관해서는 무효강수량으로 취급할 수 있다. 예를 들어 현재의 토양수분량이 50mm/ft라면, 양토의 포장용수량은 92mm/ft이므로 유효강수량으로서 토양에 수용 가능한 양은 포장용수량에서 현재의 토양수분량을 뺀 42mm/ft가 된다. 이러한 경우는 강수량이 42mm/ft를 초과하더라도 초과분의 강수량은 무효강수량으로 간주될 수 있다.

토양수분량은 최고 92mm/ft에서 0mm/ft까지 변한다고 할 수 있으나 특별히 가뭄 때를 제외하고는 위조점인 46mm/ft이하로 크게 떨어지지 않는다. 따라서 유효강수량은 0mm로 부터 46mm까지 사이에 어떤 값이 될 것이다.

3.3. 증발산량의 결정

증발산량의 계산은 이를 지배하고 있는 복잡한 기상요인들과의 관계를 유도하여 여러가지 추정계산식을 사용하고 있다. 가장 널리 이용되고 있는 방법은 Penman(1948), Thornthwaite(1948), Blaney 와 Criddle(1950), Tanner(1960) 등의 경험식들이다. 그런데 이를 방법 사이에는 상당한 차이를 보이고 있으며, 특히 기후 특성이나 증발면, 토양의 종류, 토양수분 및 퍼복상태등에 따라 크게 변하므로 어느 지역의 증발산량을 평가한다는 것은 쉬

운일이 아니다. 따라서 간접적인 방법으로 증발계의 증발량을 측정하여 실제의 증발산량과의 관계를 평가하는 방법도 많이 이용하고 있다. 호수면의 증발량은 대형증발계(Class A pan)의 60%에서 80%이고 평균값으로 72%를 사용한다(櫻谷哲夫, 1982). 그리고 벼 생육기에 논에서의 증발산량은 Tomar와 O'Toole(1979)에 의하면 소형증발계의 94%, 일본증발산연구 group(1967)에 의하면 82%로 보았다. 한편 목초지등 밭의 경우 증발산량은 대형증발계의 80%에서 100%까지 변화폭이 큰데, Aston 등 (1980)에 의하면 수분공급만 충분하다면 조밀한 목초지에서의 증발산량은 대형증발계의 증발량과 같다고 보고있다. 그러나 수분공급이 원활하지 못할 때는 물론 증발산량은 감소한다.

우리나라의 경우 대형증발계는 겨울철에는 사용하지 못하는 어려움이 있지만 소형증발계는 연중 계속 운영하고 있어서 이를 두 증발계의 증발량비를 산출하여 한후기에 대형증발계의 증발량뿐만 아니라 호수면의 증발량도 추정할 수 있다. 우리나라 난후기에 소형증발계의 증발량(Sp)에 대한 대형증발계의 증발량(Lp)의 비를 나타낸 것이 Table 5 이다. 이 표에 의하면 Lp/Sp는 대략 70% 전후이다. 그리고 호수면 증발량은 Lp의 약 70%로 보면, Sp에 대해서는 약 50% 정도로 볼 수 있다.

4. 토양습윤지수

4.1. 토양수분량의 결정

경지에 강수 P가 내렸다면 물수지는 다음 식으로 표시된다.

$$P = R + I + E + \Delta W \quad \text{①}$$

여기서 R은 유출량, I는 침투량, E는 실제의 증발산량, ΔW 는 토양수분 변화(충전)량이다. 식 ①을 ΔW 에 관하여 정리하면 다음과 같다.

$$\Delta W = P - R - I - E \quad \text{②}$$

이때 측정기간 첫날의 토양 수분량을 W_1 , 마

Table 5. Percentage of evaporation of the Class A Pan to the Small Pan.

Stations	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct
Sokcho	74	75	75	74	74	72	71
Chunchon	70	71	72	69	70	69	63
Kangnung	65	69	67	66	66	64	64
Seoul	70	72	73	72	73	72	65
Inchon	69	72	68	65	67	66	59
Ullungdo	70	74	71	70	69	69	68
Suwon	69	71	72	71	73	73	68
Sosan	71	75	77	76	77	75	69
Uljin	70	69	69	70	69	69	69
Chonju	70	71	71	69	72	69	67
Taejon	67	68	68	67	68	67	62
Chupung	64	64	66	59	64	63	64
Pohang	72	71	74	71	72	72	72
Kunsan	68	71	68	69	71	72	67
Taegu	73	74	72	72	73	70	69
Chonju	69	81	68	69	73	70	68
Ulsan	66	70	72	69	68	65	62
Kwangju	67	68	66	68	71	68	66
Pusan	72	72	71	69	75	75	73
Chungmu	69	65	64	64	64	65	63
Mokpo	69	70	70	69	71	71	68
Yosu	71	73	72	73	76	76	74

지막날의 토양수분량을 W_2 라하면 해당 기간 동안의 토양수분 변화(ΔW)는 다음과 같다.

$$\Delta W = W_2 - W_1 \quad \text{③}$$

따라서 일정 기간을 경과한 후, 마지막 날의 토양수분량(W_2)은 다음과 같이 표현된다.

$$W_2 = P - (R + I) - E + W_1 \quad \text{④}$$

식 ④에서 W_2 를 구하려면 각 항을 실측하여 해결할 수도 있겠지만, P 를 제외한 나머지의 항들은 측정하기가 매우 어려워 간접적으로 구하게 된다.

여기서 $P - (R + I)$ 는 토양에 머무르는 유효강수량(P_e)이 된다. 강수 P 가 적을 때에는 유출(R)과 침투(I)가 없이 $P = P_e$ 일 때가 있으며, 강수(P)가 많을 때는 포장용수량(92mm/ft)에서 현재의 토양수분량(W_1)을 제외한 양 만큼만 유효강수량(P_e)이 된다. 강수가 많아도 그때의 유효강수량을 제외한 잉여 강수량은 토양에 머무르지 못하는 무효강수량이다. 따라서 식 ④는 다음과 같이 표현

된다.

$$W_2 = P_e + W_1 - E \quad \text{.....} \quad \text{⑤}$$

여기서 측정기간 간격을 1일로 하면 W_1 은 전날 토양수분이고, P_e 는 전날부터 오늘까지 24시간의 유효강수량이다. P_e 값은 강수가 없을 때에는 물론 0이다.

식 ⑤에서 증발량 E 는 식물이 있는 경우는 증발산이 되어 증발산량은 토양수분의 포장용수량 상태에서 가장 크고, 위조점에서 중지된다고 보고 있다(鄭夏禹 외, 1987). 그러나 토양수분량에 따른 증발량의 변화를 나타낸 Table 6에 의하면 토양수분량은 어떤 증발속도 이상에서는 포장용수량에서의 증발량과 같다가 임계값 이하에서는 증발량이 감소하는 것을 볼 수 있다. 따라서 매일의 증발량 결정에는 증발량이 급격하게 감소하는 임계 토양수분량(W_c)을 결정할 필요가 있다.

앞에서 언급한 것처럼 Shockley(1956)는 양토에서 초기 위조점인 토양수분 48%(45mm/ft)를 관개

Table 6. Evaporation of free water surface at different soil moisture content (after Fleming, 1966).

Soil moisture(%)	Evaporation of free water surface (mm/day)			
	0 - 3.0	3.1-4.0	4.1-6.0	≥ 6.1
100 - 75	1.0	1.0	1.0	1.0
74 - 50	1.0	1.0	0.8	0.6
49 - 25	1.0	0.7	0.5	0.35
24 - 0	0.5	0.3	0.25	0.15

시기로 보고 50%가 될 때까지의 증발량은 포장용수량때의 증발량과 같다고 보았으며,坪井(1977)은 건조기후 조건에서 포장용수량의 65%까지는 포장용수량때의 증발량과 같다고 보고 있다. Fleming(1966)은 양토에서 유효수분을 2 in/ft로 보고 총 유효수분은 4 in/ft(100mm)로 보아 양토에 대해 Table 6을 수정없이 사용할 수 있는 것으로 보았다.

이 연구에서는 Shockley의 값을 따라 W_c 를 포장용수량의 50%인 46mm로 보았으므로, 식 ⑤는 $W_1 \geq W_c$ 때와 $W_1 < W_c$ 때로 나누어 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$W_2 = P_e + W_1 - E \quad (\text{단 } W_1 \geq W_c) \quad ⑥$$

$$W_2 = P_e + W_1 - W_1 \times E/W_c \quad (\text{단 } W_1 < W_c) \quad ⑦$$

이제 식 ⑥과 식 ⑦에서 토양수분의 초기값 W_1 을 얼마로 할 것인가 하는 것이 문제로 대두된다. 이 문제는 W_2 를 계산하고자 하는 기간 전에 충분한 강수(보통 50mm이상)로 토양수분이 포장용수량과 같아진 날을 시작일로 하여 계산하면 해결될 수 있다. 이날은 $P_e + W_1$ 이 92mm/ft로서 포장용수량이 된 것으로 간주한다. 아울러 날이 경과되면서 발생할 수 있는 오차는 후에 충분한 강수가 있은 날에 다시 보정된다고 생각할 수가 있다.

4.2. 토양습윤지수의 정의

토양의 습윤정도를 지수화하여 토양습윤지수(soil moisture index, Im)라고 다음과 같이 표현한다.

$$Im = W_2 \times 100 / W_f \quad ⑧$$

여기서 W_f 는 포장용수량이다. 이때 W_2 의 값은

식 ⑥과 식 ⑦을 이용한다. 계산된 토양습윤지수의 변화가 실제의 토양수분 변화를 반영하고 있는가를 검토할 필요가 있다. 그러나 이러한 양을 검정하기는 용이한 일이 아니다.

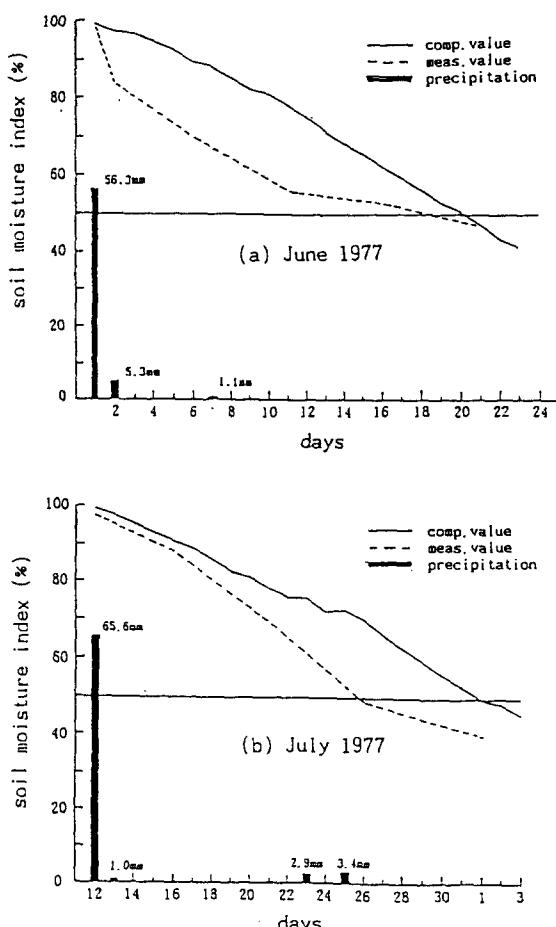


Fig. 4. Soil moisture index for Suwon area in (a) June and (b) July, 1977.

이 연구에서는 수원기상대에서 당시 매일 측정했던 1977년 6월과 7월의 토양수분 관측값을 이용하여 매일의 토양수분 변화와 계산된 토양습윤지수의 변화를 비교하였다. 수원기상대의 관측에 의하면 1977년 6월 1일에서 2일에 걸쳐 강수량이 61.6mm였다. 이는 최대유효강수량 46mm를 초과하고 있으므로 토양습윤지수는 100%에 달했다. Fig 4에서 보면 6월의 경우 초기 토양습윤지수는 100%였고 그후 계산값은 매일 거의 비슷한 비율로 토양수분이 감소하고 있으나 실측값은 처음에 급격하게 감소하여 토양수분지수 값에 큰 차이를 보였으나 토양습윤지수가 위조점 50%(46mm)를 하회하는 시기는 실측값의 경우(18일)와 계산값의 경우(20일)가 2일정도의 차이를 보이고 있다. 7월의 경우는 7월 12일에 65.6mm의 강수가 있은 직후에는 계산값과 실측값이 대체로 잘 일치하였으나 위조점에 가까울수록 차이가 커져서 위조점을 하회하는 시기는 계산값의 경우(8월1일)가 실측의 경우(7월25일)보다 약 7일이 늦었다. 여기서 7월의 경우 7월 23일과 25일에 약간의 강수가 있어 토양습윤지수 추정에 약간의 영향이 있었는데도 실측값에는 이 강수의 영향이 거의 무시되었다. 앞서 언급한 것과 같이 토양수분 측정 자체는 어렵고, 따라서 측정상의 큰 오차(토양수분 측정 중단의 이유)가 있을 것을 감안하여 토양수분지수는 긍정적으로 받아들일 수 있을 것이다.

4.3. 토양습윤지수의 실용성 검토

토양이 수분으로 포화(포장용수량)되었을 때부터 가뭄의 시작인 토양습윤지수 50이 될 때까지의 경과일수는 계절에 따라 차이가 있다. 그 이유는 증발량이 계절에 따라 달라지기 때문이다. 즉 증발량이 많은 여름철에는 그 기간이 짧고, 증발량이 적은 겨울철에는 그 기간이 길 것이다. 작물의 생육기간인 4월에서 9월은 15일에서 20일 정도이다. 위의 15일에서 20 일 기간은, 무강수기간이 15 일 정도이면 작물생육에 지장을 초래한다고 본 鄭英祥(1981)의 연구결과와 비슷하다. 1977년 우리나라 중부지방이 가뭄었을 때에 계산된 토양습윤지수의 변화곡선을 나타낸 것이 Fig 5 이다. 춘천과

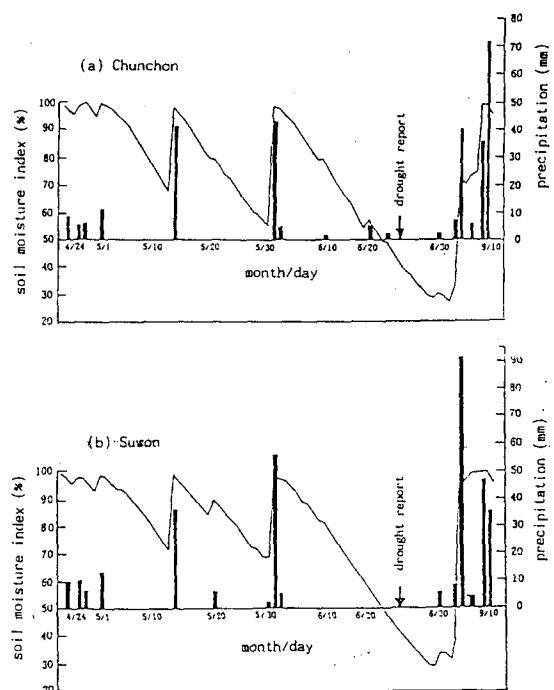


Fig 5. Variation of soil moisture index from April 24 to September 10, 1977 in (a) Chunchon and (b) Suwon.

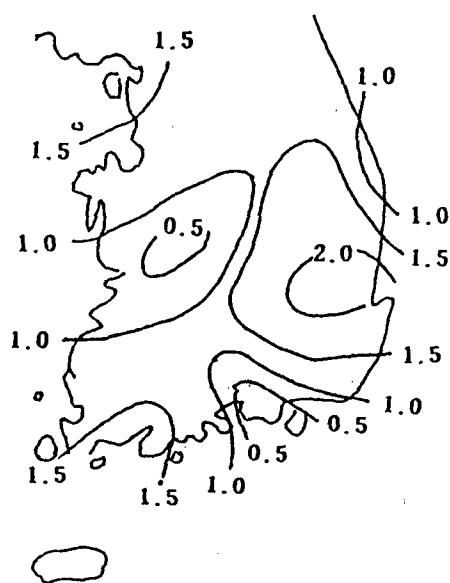


Fig 6. Isolines of frequency of soil moisture index ≤ 50 in growing season(April to September) for the period of 1951-1980.

수원지역에 6월1일에서 2일 사이에 많은 강수로 토양에 충분한 수분이 공급(토양습윤지수 100)된 후 약 20일이 지나서 토양습윤지수는 50을 나타내었고 그 후 3일만에 신문에서 가뭄기사 보도가 있었다. 이와같은 토양수분 지수의 분석결과, 가뭄의 진행이 시간경과에 과히 예민하지 못하다는 것을 감안하면 동 지수가 실용성이 있다고 할 수 있다. 한편, 토양습윤지수 50이하를 가뭄으로 정의한다.

우리나라 30년(1951-1980)간의 농사기간 6개월(4에서 9월까지)자료를 이용하여 토양습윤지수를 구하고, 그 값 50 이하로 떨어졌던 회수의 분포를 나타낸 것이 Fig 6이다. 이 그림에서 토양습윤지수 50이하가 가장 빈번히 나타난 지방은 경북지방(연 1.5회에서 2.5회), 호남지방(연 1.2회에서 1.6회)이고, 빈도가 적은 지역은 전주에서 충무에 이르는 지역과 대전지역으로서 연 0.5회 정도였다. 이와 같은 결과는, 경북지방과 호남지방은 비가 적으며, 전주-충무지역은 비가 비교적 많고, 대전지역은 다우지역은 아니지만 강수가 비교적 고르게 내리고 있기 때문이라고 설명할 수 있겠다. 이러한 유형은 앞서 언급한 무강수 계속일수로 본 가뭄의 경우와 상당한 유사성을 가진다.

5. 결 론

이 연구에서는 우리나라 기상관측소를 중심으로 일정지역의 가뭄정도를 토양습윤지수를 도입하여 평가하였다. 토양습윤지수를 구하는데 필수적인 당일의 토양수분량은 직접 측정하지 않고 강수량과 증발산량을 평가함으로서 간접적으로 구하였다. 이때 토양의 대표종류를 양토로, 주근군역을 1 ft로, 최대 유효토양수분량은 포장용수량(92mm)과 위조점(46mm)의 차인 46mm로 각각 보았다. 유효강수량은 최대 46mm에서 최소 0mm, 증발산량은 Class A pan의 70%, small pan의 50%로 간주하였다. 토양습윤지수는 다음과 같은 식으로 구하였다.

$$Im = W_2/W_f \cdot 100$$

여기서, W_f 는 포장용수량이다. 당일의 토양수분

량(W_2)은 유효강수량(P_e), 어제의 토양수분량(W_1), 어제부터 오늘까지의 증발산량(E)에 의해 다음과 같이 표현하였다.

$$W_2 = P_e + W_1 - E$$

처음 도입할 때 충분한 강수가 있는 다음날에 토양수분(W_1)이 포장용수량과 같아진다고 생각되는데로부터 계산을 시작하면 강수량과 증발산량만으로 매일의 토양수분량을 평가할 수 있게 된다. 다만, 증발산량의 크기는 위조점까지는 측정증발값과 같으며, 위조점 이후에는 증발량이 위조점에 대한 토양수분의 비에 비례($W_1 \times E/W_c$)한다고 보았다.

토양 습윤지수가 50에 달하면 가뭄의 시작이며 이 시점 이후 신문에 가뭄보도가 있게 된다. 이 시점은 농사계절의 경우 무강수 계속일수 11일에 해당된다. 토양습윤지수 50이하가 빈번히 나타나는 지방은 경북지방으로 난후기에 연 1.5회에서 2.5회, 그 다음은 호남지방으로 연 1.2회에서 1.6회로 많고, 지수가 적은 지방은 전주에서 충무에 이르는 경남지방과 대전지역으로서 연 0.5회 이하이다.

감사의 글

이 연구를 위하여 필요한 자료를 제공하여 주시고 친절히 조언하여 주신 기상연구소 홍성길 소장님께 감사의 뜻을 표합니다. 그리고 자료정리와 전산처리에 혼신적으로 노력한 대학원 이준영 군에게 감사합니다.

참 고 문 현

기상연구소, 1993, 우리나라 가뭄에 관한 연구, 기상연구소, 80. 기상청, 1993, 기상관련법령집, 기상청, 서울.

金光植, 1968, 南韓 10大江 流域의 물 收支, 韓國氣象學會誌, 4(1), 1-13.
변희룡, 한영호, 1994, 한반도에서 계절별로 발생

- 하는 가뭄에 관한 연구, 韓國氣象學會誌, 30(3), 457-467.
- 楊辰錫, 1987, 韓國 夏季旱魃의 綜觀氣候學的 特性, 慶北大學校 博士學位論文, 105.
- 유경희, 1985, 남한의 물수지와 한발의 특성, 이화 여자대학교 석사학위논문, 57.
- 李舜鐸, 1971, 慶北地方의 旱魃에 관한 研究, 嶺南 大 論文集, 4, 173-203.
- 李炳坤.金日坤, 1979, 韓國의 氣象災害 地域分布- 實態分析과 地理的 分布를 중심으로, 慶北大 文理學叢, 5, 51-67.
- 鄭夏禹.朴成宇.金哲基.柳寬植, 1987, 耒作物 消費水 量 算定方法 定立研究, 서울大農大部속 農業開發研究所, 農水產部 農業振興公社, 202.
- 鄭英祥, 1981, 大豆圃場에서 水分吸收에 관한 數值 解析學的 模型, 韓國土壤肥料學會誌, 14(1), 8-16.
- 중앙기상대, 1984, 氣象災害現象年表, 中央기상대, 서울, 582.
- 중앙기상대, 1989, 기상재해자료, 中央기상대, 서울, 72.
- 日本蒸發散研究 グループ, 1967, 水田の蒸發散, 農業氣象 22(4), 149-157.
- 櫻谷哲夫, 1982, 蒸發の測定法, 農業氣象, 37(4), 337-338.
- 坪井八十二, 1977, 農業氣象學ハンドブック, 養賢堂, 東京, 854.
- Aston, A.R.D. Sandilands, F. X. Dunin, 1980, WATSIM - a Distributed Hydrologic Model, SCIRO, Australia, Div. of Plant Industry Tech. Paper, 35, 36.
- Bahlme,H.N. and A. Mooley, 1980, Large scale droughts/ floods and monsoon circulation, Mon. Wet. Rev., 108, 1197-1211.
- Blaney, H.F. and W. D. Criddle, 1950, Determining Water Requirements in Irrigated Area from Climatological and Irrigation Data, U. S. Dept. Agri. Soil Conserv.Serv., Tech. Paper, 96, 45.
- Chen Jiagi and Shen Zhenrong, 1980, Analysis of Drought Occurrence and Long-term Variation of Annual Streamflow in Eastern Regions of China, Proc. Tech. Conf. on Climate of Asia and Western Pacific, WMO, No.578, 334-340.
- Cole, M.S., 1933, Drought in Arkansas, Mon. Wea. Rev., 61, 129-140.
- Condra, G.E., 1944, Drought,its Effects and Measure of Control in Nebraska, Univ.of Nebraska, Conservation Bulletin, 25, 1-25.
- Fleming, P.M., 1966, Crop Water Requirement and Irrigation, In WMO(ed.), Agricultural Meteorology, Proc. WMO Seminar, Melbourne, Australia,vol.2, 591-618.
- Lomas, J. and J.Levin, 1979, Irrigation, In J.Seemann, et al(eds.) Agrometeorology, Springer-Verlag, New York, 217-264.
- Palmer, W.C., 1965, Meteorological Drought, U.S.Weather Bureau, Research Paper No.45, 1-58.
- Penman, H.L., 1948, Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass, Proc. Roy. Meteor. Soc., A 193, 120-145.
- Penman, H.L., 1961, Weather, Plant and Soil Factors in Hydrology, Weather 16(7), 207-219.
- Shockley, D.G., 1956, The Influence of Soil Moisture Holding Characteristics upon Sprinkler Irrigation Design, Sprinkler Irrigation Mannual Wright Rain, 45-50.
- Tanner, C.B., 1960, Energy Balance Approach to Evapotranspiration from Crops, Proc. Soil Sci.Soc.24, 1-9.
- Tomar, V.S.and J.C. O'toole, 1979, Evapotranspiration from Rice Fields, IRRI Research Paper Ser., 34, 15.
- Thorntwaite, C.W., 1931, The Climate of North America according to a New Classification, Geog. Rev., 21, 633-655.
- Thorntwaite, C.W., 1948, An Approach toward a Rational Classification of Climate, Geog. Rev. 38, 55-94.