

밭농사의 여름철 기후순화기능에 대한 경제적 가치 평가

현병근* · 김무성¹ · 엄기철² · 강기경 · 윤홍배 · 서명철

농업과학기술원 농업환경부, ¹경희대학교 한방재료가공학과, ²고령지 농업시험장

Estimation of Economic Value of Cooling by Upland Farming during Hot Summer

Byung-Keun Hyun*, Moo-Sung Kim¹, Ki-Cheol Eom², Ki-Kyung Kang, Hong-Bae Yun and Myung-Cheol Seo

National Institute of Agricultural Science & Technology, Suwon 441-707, Korea

¹Department of Oriental Medicinal Material and Processing, Kyung-Hee Univ., Suwon 449-701, Korea

²National Alpine Agriculture Experiment Station, Pyeongchang 232-955, Korea

Multifunctionality of agriculture which cannot be in trade has internationally an important issue due to its environmental and public benefits. The purpose of this study was to estimate economic value of upland farming in cooling effect during hot summer. Economic value of cooling effect was evaluated by the replacement cost method. To evaluate the cooling effect from July through August, the amount of evapotranspiration in upland was estimated using crop coefficients and soil water coefficients perviously reported by several researchers. In July and August, average crop coefficient of fourteen major upland crops was 1.19 and average soil water coefficient of major textures of upland soil was 0.91. The estimated evapotranspiration in upland from July through August was $1,224 \times 10^6$ Mg, and this amount of evapotranspiration can consume 7.1×10^{14} kcal of heat. When these values were converted to the price of petroleum, the economic value of cooling effect by upland farming from July through August was about 12 trillion won.

Key words : Cooling effect, Multifunctionality of agriculture, Upland farming.

서 언

우리 농업은 인류를 위해 식량을 생산하는 기본적인 역할과 함께 홍수조절, 대기정화, 유기성 폐자원 소화, 토양침식예방, 여름철 고온기 대기 냉각 효과 등의 환경을 보전하는 기능을 가지고 있어 자연생태계와 도시생태계를

조화롭게 유지시켜주는 중요한 교량역할을 하고 있다. 특히, 여름철 고온기의 대기를 냉각시키는 기후순화기능은 대기 중의 온실가스의 증가에 따라, 최근 가속화되어 가고 있는 지구 온난화에 비추어 볼 때, 그 중요성이 크게 대두되고 있다.

농경지의 기후순화기능은 더운 여름철에 농작물 재배로 증발산되는 수분의 기화잠열이 주위의 열을 빼앗아 가기 때문에 발생된다. 기후순화기능은 실제 대기 중으로 날아간 물의

접수 : 2003. 10. 14 수리 : 2003. 11. 20
*연락처 : Phone: +82312900590,
E-mail: bkhyun@rda.go.kr

양이나 경지외부와 경지내부의 온도 차이를 측정하여 평가할 수 있다. 농경지에서 발생하는 증발산량은 잠재증발산량, 작물계수, 토양수분계수를 이용하여 평가할 수 있는데, 특히 토양수분계수의 측정이 쉽지 않은 단점이 있으나 기존에 보고된 자료를 이용하여 산정할 수 있을 것이다. 온도 차이를 이용하는 방법은 상대적으로 간단한 방법이지만, 경지내외부의 온도 측정에 대한 기존의 보고된 자료가 없을 때는 이용할 수 없는 한계가 있다.

농업의 기후순화기능에 대한 연구를 살펴보면, 우리나라에서 논과 밭에서 작물체를 통해 증발산 되는 물 양으로 기후순화 기능을 평가하였고 (Eom et al., 1993 and 1996), 잠재증발산량을 추정하는 모형연구로는 최근에 수면증발량을 이용한 계절별 잠재증발산량 추정모형이 발표되었다 (Oh, 2001). 일본에서는 논의 기후순화기능을 증발산량으로 평가하였는데 (Yoshida, 1998), 고온기에 논 주위의 온도와 논에서 150 m 떨어진 거리의 온도 차이를 비교한 결과는 2.5°C 이었고, 평균 기온저감효과는 1.3°C로 평가되었다. 여름철 기온 1°C를 내리는데 필요한 전기료로 환산한 결과 이러한 기후순화효과의 경제적 가치는 5.12¥에 해당되었다. 이것을 지역별 세대수와 냉방일수, 그리고 냉방전기요금 및 냉방시간의 곱으로 계산하면, 동북지방의 경우 6.24억¥의 경제적 가치를 가지는 것으로 평가되었다. 그러나 이 모형의 경우 논외의 경우에만 적용이 가능한 모형으로서 아직까지 밭에서는 적용모형이 없는 실정이며, 실험을 통하여 밭에서의 적용을 검토해야 될 것으로 생각된다.

농경지에서 발생하는 증발산량을 이용한 기후순화기능의 평가 방법은 농업과학기술원 토양수분연구실에서 지난 10여년간 조사 축적한 자료를 이용할 경우 충분히 활용 가능할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 대기를 냉각시키는 밭농사의 기후순화기능에 대한 경제적 가치를 고온기의 일일증발산량을 이용하여 평가하였다.

재료 및 방법

여름철 고온기인 7월부터 8월사이의 밭농사의 기후순화기능에 대한 경제적 가치를 일일증발산량을 이용하여 평가하였다. 일일증발산량은 다음 식으로 계산하였으며, 조사기간동안의 총증발산량은 일일 증발량이 3.35 mm 이상인 날수를 곱하여 계산하였다.

$$\text{일일증발산량} = \text{잠재증발산량} \times \text{작물계수} \\ \times \text{토양수분계수}$$

본 연구에서는 이용한 잠재증발산량과 작물계수는 농업기술연구소에서 1981년부터 1994년까지 조사한 14년 누적정적치중 7월부터 8월까지의 고온기에 해당하는 자료이었다 (Song et al., 1998). 토양수분계수는 Oh et al. (1996)이 조사한 고온기의 토양수분함량을 기초로 하여 토양수분부족이 없는 0.1 bar를 토양수분계수 1로 보고, 고온기에 조사된 토양수분함량이 0.1 bar보다 작은 일수의 비율로 토양수분계수를 산정하여 사용하였다. 일일 증발량이 3.35 mm 이상인 일수는 기상대 자료를 이용하여 산출하였다 (KMA, 2001a and 2001b)

결과 및 고찰

잠재증발산량 작물별로 증발산량을 추정하기 위해서는 일반적으로 기준이 될 수 있는 표준상태가 필요하며, 이러한 표준상태를 잠재증발산량이라고 한다. 본 연구에서 사용한 잠재증발산량은 Song et al. (1998)이 수집한 자료이며, Table 1에서와 같이 고온기인 7월중에는 일일 2.68 mm, 8월에는 이보다 많은 2.99 mm이었으며, 7월부터 8월 사이의 평균은 2.84 mm이었다.

작물계수 작물별 증발산량은 잠재증발산량의 비율로 표시할 수 있으며, 이를 작물계수라고 한다. 개별 작물의 최대증발산량은 잠재증발산량과 작물계수의 곱으로 얻어진다. 본 연구에서 사용한 작물계수는 Song et al. (1998)이 수

Table 1. Potential evapotranspiration from July to August.

Periods		Potential evapotranspiration [†]
		mm day ⁻¹
July	01 - 10	2.64
	11 - 20	2.68
	21 - 31	2.71
	Mean	2.68
August	01 - 10	3.05
	11 - 20	3.15
	21 - 31	2.80
	Mean	2.99
Mean		2.84

[†] Data source: Song et al. (1998).

집한 자료이며, 고온기인 7-8월에 해당하는 자료를 활용하였다 (Table 2). 작물별로는 옥수수의 고온기 작물계수가 1.68로 가장 높았으며, 열같이 배추의 작물계수가 0.76으로 가장 낮았다. 조사된 밭작물의 평균 작물계수는 1.19이었다.

토양수분계수 토양수분계수에 대한 연구는 계속되고 있으나 (FAO, 1998; Oh et al.,

1996), 실용적인 자료는 부족한 실정이다. 7-8월중에 조사된 토양수분함량을 기초로 하여 토양수분계수를 산정하였는데 (Oh et al., 1996), 토성이 식토인 경우에는 토양수분계수가 0.75로 계산되었고, 나머지 식양토, 양토, 사양토에서는 토양수분계수가 모두 0.917로 계산되었다 (Table 3).

이를 토대로 하여 밭토양의 토성별 면적가중치를 고려한 후 7-8월중 토양수분계수를 산정한 결과 0.91로 계산되었다 (Table 4). 현재 토양수분계수의 추정이 가장 어려운 부분이지만 농업과학기술원의 웹서비스 시스템인 『농업물관리 시스템』(NIAST, 2001)이 완성되어 사용된다면, 훨씬 정확한 값을 편리하고 간편하게 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

고온일수 고온일수는 증발산량이 3.35 mm 이상 되는 일수로 기상청 자료를 이용하여 계산하였으며, 각 지역별 고온일수는 Table 5에 나타내었다. 7월과 8월 두 달 중 전국 평균 고온일수는 54.5일로 계산되었다. 도별로는 충청북도에서 고온일수가 57.8일로 가장 길었으며, 가장 짧은 지역은 제주도로 49.3일이었다.

Table 2. Crop coefficient of upland crops from July to August.

Crops	Years of trial	Growing periods	Crop coefficient [†]
Soybean	8	May 20 - Oct 10	1.31
Corn	5	May 25 - Aug 25	1.68
Sweet potato	5	Jun 1 - Oct 15	1.32
Upland rice	7	May 10 - Oct 10	1.31
Red bean	2	May 15 - Sep 15	1.36
Peanut	3	Apr 30 - Oct 10	1.21
Perilla seed	2	May 15 - Sep 30	1.37
Sesame	6	May 20 - Aug 25	0.94
Chinese cabbage	2	Jul 31 - Oct 10	0.76
Red pepper	9	May 15 - Oct 15	1.06
White potato	1	Apr 8 - Sep 6	1.11
Melon	1	May 1 - Aug 6	0.86
Tomato	2	Jun 5 - Sep 20	1.27
Chrysanthemum	1	Jul 1 - Oct 3	1.04
Mean			1.19

[†] Data source : Song et al. (1998)

Table 3. Water contents of upland soil from July to August.

Date	Water contents according to soil texture †			
	Clay	Clay loam	Loam	Sandy loam
	----- % -----			
July 1	34.0	32.5	31.0	29.0
July 2	33.0	32.0	30.0	28.0
July 7	35.5	33.5	33.0	30.5
July 9	32.0	29.5	27.5	27.0
July 10	30.5	28.0	27.0	25.5
July 18	33.0	32.0	29.5	28.0
July 22	34.5	34.0	32.0	30.0
August 7	28.0	27.5	26.0	24.0
August 8	29.0	27.0	25.5	23.5
August 10	27.0	27.0	24.5	23.0
August 19	23.5	22.0	20.0	18.0
August 28	37.5	33.0	33.0	32.0
Water content of 0.1 bar	28.2	26.3	22.5	19.6
Days less than 0.1 bar water content (A)	3	1	1	1
Ratio (A/12)	0.25	0.083	0.083	0.083
Soil water coefficient ‡	0.75	0.917	0.917	0.917

† Data source : Oh et al. (1996)

‡ Soil water coefficient = [1-Ratio]

Table 4. Soil water coefficient depending on soil texture.

Texture of upland top soil	Area of upland	Weighted area	Soil water coefficient	Weighted soil water coefficient
	ha			
Loamy sand	22,627	0.026	0.875	0.023
Sandy loam	274,704	0.313	0.917	0.287
Loam	425,167	0.484	0.917	0.444
Silty loam	94,487	0.108	0.875	0.094
Clay loam	11,613	0.013	0.917	0.012
Silty clay loam	35,481	0.040	0.875	0.035
Others	14,422	0.016	0.875	0.014
Total	878,501	1.000		0.910

밭농업의 기후순화기능 이와 같이 추정된 잠재증발산량 2.84 mm day^{-1} , 밭작물의 평균작물계수 1.19, 토양수분계수 0.91, 7월과 8월 중의 전국 평균 고온일수 54.5일을 이용하여 고

온기인 7월부터 8월사이의 밭농사에 의해 발생하는 증발산량은 167.6 mm 로 추정되었다. 우리나라 밭토양 총면적인 $730,060 \text{ ha}$ 를 적용할 경우에는 밭농사에 의해 발생하는 증발산

Table 5. Average days of evaporation greater than 3.35 mm per day from July to August.

Region	No. of observation station	July	August	Total
Major cities	8	28.9	26.6	55.5
Gyeonggi-do	3	30.0	27.7	57.7
Gangwon-do	9	27.9	26.1	54.0
Chungcheongbuk-do	4	29.5	28.3	57.8
Chungcheongnam-do	6	29.8	26.2	56.0
Junlabuk-do	7	28.6	26.8	55.4
Junlanam-do	7	27.4	26.7	54.1
Kyungsangbuk-do	11	27.7	27.0	54.7
Kyungsangnam-do	9	27.0	24.9	51.9
Jeju-do	3	21.3	28.0	49.3
Average	67	28.0	26.6	54.5

량은 $1,224 \times 10^6$ Mg으로 계산되었다.

앞으로 발농사 공익기능의 차이에 의해 직접 지불 금액을 달리한다고 할 때, 영농형태에 따라 금액이 달라 질 수가 있을 것이다. 기후순화기능을 예로 들면 수원지방의 옥수수와 양평 지역의 참깨를 분석하면, 옥수수의 경우 $2.84 \times 1.68 \times 0.91 \times 60 = 260.5$ mm로써 7-8월 기간중 ha당 증발산량이 2,650 Mg이나, 참깨의 경우에는 $2.84 \times 0.94 \times 0.91 \times 54 = 131.2$ mm로써 ha당 1,312 Mg의 증발산이 되어 옥수수가 참깨에 비하여 2배정도의 기후순화기능이 있다고 할 수 있을 것이다. 따라서 차등지불제도의 시행은 생산 환경 조건이나 영농형태에 따른 공익기능의 차이에 근거를 둘 것으로 생각된다.

증발산량 Mg당 581.3×10^3 kcal의 증발시 잠열이 발생하므로 밭토양에서 발생하는 $1,224 \times 10^6$ Mg의 총증발산량은 7.1×10^{14} kcal의 기화열을 흡수하게 된다. 이러한 밭토양의 증발산량의 경제적 가치를 냉방용 석유 값으로 평가하면, 석유의 Mg당 발열량이 10^7 kcal이므로 전체증발산량은 석유 7.1×10^7 Mg에 해당된다. 이 양을 Mg당 석유가격인 144.85 달러를 적용하고 달러의 원화가격을 1,200원으로 계산할 경우 평가액은 무려 12조 3,412억원에 해당된다고 할 수 있다.

물론 농업의 다원적 기능에 대한 경제성 평가의 한계점은 적절한 대체재의 존재여부와 대체재 선택의 타당성에 대해서 소비자의 진정한 지불의사를 나타내지 못하는 점과 기회비용의 개념이 감안되지 못하는 점들이며, 앞으로도 평가액 산출에 대한 적절한 분석방법이 계속 연구되어야 할 것으로 생각된다.

적 요

발농사의 다원적 기능 중 여름철 고온기의 기후순화 기능을 일증발산량으로 평가하였는데, 일증발산량은 우리나라 주요 밭작물의 평균작물계수와 밭토양의 평균 토양수분계수를 이용하여 추정하였다.

7월부터 8월 사이의 고온기간 중 발농사에 의해 날아간 수분증발산량은 ha당 1,676 Mg으로 추정되었으며, 밭 면적 전체로는 $1,224 \times 10^6$ Mg에 해당되었다. 이러한 수분의 증발산을 통한 기후순화기능의 경제적인 가치를 기화열로 환산하면 7.1×10^{14} kcal에 해당하였으며, 이 열량을 냉방용 석유 값으로 평가하면 12조 3,412억원에 해당되었다.

인 용 문 헌

- Eom, K. C., S. H. Yun, S. W. Hwang, S. G. Yun, and D. S. Kim. 1993. Public benefits from paddy soil. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 26:314-333.
- Eom, K. C., K. W. Jung, S. E. Lee, B. H. Song, D. R. Choi, and S. H. Choi. 1996. Qualitative and quantitative analysis of the effect of upland crop cultivation on the conservation of natural environments. Final report on agricultural special project. p. 109. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- FAO. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Yoshida, K. 1998. An economic evaluation of multifunctional roles of agriculture and rural areas in Japan. Annual report 52(4):113-138. National Research Institute of Agricultural Economic, Tokyo, Japan.
- KMA. 2001a. The Analysis system of weather. . Korea Meteorological Administration, Seoul, Korea.
- KMA. 2001b. The table of Korea climate. Korea Meteorological Administration, Seoul, Korea.
- KOWACO. 2003. The information of using water fare. <http://www.kowaco.or.kr> -public sector of cyber information of water fare. Korea Water Resources Cooperation, Daejeon, Korea.
- NIAST. 2001. Reports for constructing of soil environment DB system and web server system of water management system in agriculture. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- Oh, D. S., Y. T. Oh, K. C. Song, and J. S. Shin. 1996. Guideline for evaluating the drought according to soil moisture contents. Annual report. p. 206-209. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- Song, K. C., D. S. Oh, Y. T. Oh, K. C. Eom, and J. S. Shin. 1998. The crop situation of according to soil water contents in upland farming. Annual report. p. 372-374. National Institute of Agriculture Science Technology, Suwon, Korea.