

기온과 토양요인을 고려한 난지형 마늘 재배적지 분석

김용완 · 장민원¹ · 홍석영² · 김이현²

경상대학교 대학원, ¹경상대학교 지역환경기반공학과 (농업생명과학연구원),

²국립농업과학원 농업환경부

Assessing Southern-type Garlic Suitability with regards to Soil and Temperature Conditions

Yong-Wan Kim, Min-Won Jang^{1*}, Suk-Young Hong², and Yi-Hyun Kim²

Graduate school, Gyeongsang National Univ., Jinju 660-701, Korea

¹Dept. of Agricultural Eng.(Inst. of Agri. & Life. Sci.), Gyeongsang National Univ., Jinju

²Dept. of Agricultural Environment, National Academy of Agricultural Science, Suwon

This study was carried out to evaluate the land suitability for southern-type garlic cultivation associated with both temperature and soil constraints. The suitability analysis was conducted with hourly temperature data from 2001 to 2010 at all fifty seven meteorological stations and the soil-based suitability map of garlic provided by Rural Development Administration. Firstly the temperature data were processed by the growth stages (germinating, bulbing, and winter vegetation season), and then were adopted to limit the irrelevant lands. Next, as a result of overlaying each soil and temperature suitability map, the total 274,339 ha of area was mapped as highly suitable or suitable for southern-type garlic cultivation and the top four of the largest classified si-guns were identified as Naju, Jeongeup, Gochang, and Jinju. On the other hand, the statistical records of KOSIS (KOREA Statistical Information Service) showed lower amount of cultivation area than the analyzed results in the major production sites, Goheung, Sinan, Haenam, and Muan. However, it should not be regarded as exceptional because farmer's preference might not correspond to potential land usability.

Key words: Southern-type garlic, Spatial interpolation, Suitability

서 언

마늘은 우리나라 중부와 남부지방에서 널리 재배되는 대표적인 월동 작물이다. 우리나라에서 마늘은 크게 남해안 및 제주도 등 기온이 높은 지역을 중심으로 재배되는 난지형 마늘과 의성, 단양 등 비교적 기온이 낮은 중부지방을 중심으로 재배되는 한지형 마늘로 나뉜다 (Ha, 2003; Shin et al, 2004). 난지형 마늘 재배의 주산지는 신안, 무안, 해남, 고흥, 남해 등이며 마늘 재배면적의 80% 정도를 점유하고 있다 (Nam et al., 2008). 난지형 마늘은 논토양에서 품질 좋은 마늘이 생산된다고 알려져 있는데 뿌리는 1°C 내외에서도 성장을 하기 때문에 겨울철에도 토양수분을 공급한다 (Namhae Agricultural Technology Center, 2011). 난지형 마늘의 생육적온은 18~20°C이고 25°C이상에서는 생육이

정지되는 것으로 알려져 있다.

작물 적지분석은 작물의 생육에 영향을 미치는 다양한 인자들을 고려한다. Kwak et al. (2008)은 열대과수작물에 대한 재배적지 분석에 기후와 경사도를 고려하여 제주와 남부지방에 집중되어 있는 재배지가 북상하는 것을 밝혔고, Kim et al. (2009)은 토양과 기후조건에 따른 후지 사과 재배적지 분석을 수행하였다. Jang et al. (2008)은 기온조건에 따른 전남 남해안 지역의 참다래 재배적지가 북쪽으로 올라갔음을 보였다. Kim and Lee (2006)는 경사도와 토양 조건 그리고 AHP (Analytic Hierarchy Process)기법을 고려하여 복분자의 재배적지 분석을 하였다. 또 Lee et al. (2007)은 토사유실측면을 고려하여 복분자의 재배적지를 분석하고 AHP법에 의한 결과와 비교하여 재배적지와 가능지가 각각 4.1%와 23.2% 감소함을 보였다. Kim et al. (2011)은 오미자에 대한 적지분석에서 해발고도, 향, 경사 등 지형요인을 고려하는 기법을 전북 장수군에 적용하였다. 한편 농촌진흥청 (Rural Development Administration, RDA)은 흙토람 (<http://soil.rda.go.kr>)을 통하여 61개의 작물에 대

접수 : 2012. 1. 5 수리 : 2012. 2. 15

*연락처 : Phone: +82557721933

E-mail: mwjang@gnu.ac.kr

해 토양조건에 따른 재배적지 분석결과를 지도로 서비스 하고 있다.

이상의 사례들에서 보듯이 기후, 토양, 지형 등 다양한 요인들이 적지분석에 반영되고 있지만 마늘의 경우엔 토양 요인만이 고려된 적지지도도를 홀토람에서 열람할 수 있다. 기온조건에 제약을 받는 난지형 마늘은 온난화 되는 한반도 기후변화에 따라 그 재배가능지역이 바뀌고 있을 것이라 생각되는데 현재와 미래의 적지분석을 위해서는 토양요인과 더불어 기온요인을 고려한 접근이 필요하다. 이에 본 연구는 난지형 마늘을 대상으로 토양조건과 기온조건을 모두 고려하는 재배적지 분석 기법을 정립하고, 최근 10년간의 기온자료를 사용하여 난지형 마늘의 생육시기별 재배가능지역을 지도화 하고자 하였다.

재료 및 방법

대상작물 개요 마늘은 우리나라에서 많이 생산되는 대표적인 조미채소로 2011년에 전국 재배면적이 24,035 ha, 총생산량은 295,002 ton에 달한다 (Korean Statistical Information Service, 2011). 본 연구에서는 난지형 마늘을 대상작물로 선정하여 재배적지를 분석하였다. 난지형 마늘은 한지형과는 달리 월동기가 없어 발아 후 겨울철기온 1℃ 이내에서도 영양생육을 하고 봄이 되면 구가 형성된다. 따라서 겨울철의 온도가 상승하게 되면 재배면적이 확대될 여지가 높다. 난지형 마늘은 pH 5.5 이하의 산성 토양에서는 생육 및 구비대가 나쁘므로 pH 5.5~6.0의 범위가 좋으며, 물 빠짐과 물지님 힘이 좋고 부식질이 풍부한 점질양토 (논토양)에서 품질 좋은 마늘이 생산된다 (Namhae Agricultural Technology Center, 2011).

토양조건의 재배적지 본 연구에 반영된 토양조건을 고려한 재배적지 지도는 농촌진흥청에서 2007년에 토양상

별로 최적지, 적지, 가능지, 저위생산지, 기타지역으로 마늘의 재배적지를 나누어 작성한 자료를 사용하였다 (Table 1). 토양요인에 따라 최대제한인자법 (Maximum limiting factor method)을 적용하였다. 단 농촌진흥청의 작물재배적지지도는 난지형과 한지형의 구분이 없고 생육단계별 온도조건이 반영되지 않았다.

기온조건 설정 방법 난지형 마늘의 생육적온은 18~20℃ 이고 25℃ 이상에서는 생육이 정지된다 (Fig. 1). 그러나 현재 마늘 주산지의 일기온을 분석하면 발아기의 경우 15~17℃, 구비대기의 경우는 17~19℃의 온도가 대부분을 차지하고 있었다. 겨울철 온도의 경우엔 동해온도가 -5℃ 이하이기 때문에 야간평균 최저값을 사용하여 연구를 수행하였다.

연구 방법 기온과 토양요인을 함께 고려한 난지형 마늘의 재배적지분석을 위하여 Fig. 2와 같이 연구를 수행하였다.

우선 기상청에서 운영하는 전국 기상관측소 중 57개소에 대하여 2001년부터 2010년까지의 시온도자료를 수집하였다. Fig. 1에서와 같이 난지형 마늘의 생육기를 발아기, 구비대기, 그리고 겨울철로 나누고, 발아기와 구비대기 기간엔 주간 평균 기온을 구하고 겨울철 재배기간엔 야간의 평균 최저기온을 각각 정리하였다. 기온자료의 공간내삽 (spatial interpolation)은 역거리가중법 (Inverse Distance Weighting, IDW), Spline법, Kriging법 등 매개변수에 따른 10가지 기법들을 시험하여 최종적으로 구형 (spherical) 반베리오그램 (semi-variogram) 함수의 정규크리깅 (Ordinary Kriging, OK)기법을 선정하였다 (Kim et al., 2011). 고도 100 m 상승에 따라 0.65℃ 씩 온도가 내려가는 기온감률을 적용하여 먼저 평균해수면에서 공간보간을 실시하고 다시 고도에 따라 온도값을 생성하였다. 사용된 수치고도자료는 30 m 공간해상도를 가지며 이에 맞춰 생육시기별 온도에 대한 수치

Table 1. Soil criteria for garlic suitability classification (<http://soil.rda.go.kr>).

Criteria	Suitability		
	Suitable	Possible	Low productive
Landform	fluvial plain, valley, fan, hilly	mountain foot slope, alluvial terrace, lava plain, Karst	coastal plain, mountain, scoria cone
Texture	clay loam, fine silty, sand loam, coarse silty	clay	sand, gravel, sand gravel
Drainage	good, little good, little poor	very good	poor, very poor
Available soil depth (cm)	>20	-	<20
Gravel content (%)	<35	-	>35
Slope (%)	0-7	7-15	>15

Temperature range	Oct			Nov			Dec			Jan			Feb			Mar			Apr			May			Jun		
	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L
:	Damaged by cold weather																										
-5 °C																											
-4 °C																											
:																											
15 °C	Germinating period																										
16 °C																											
17 °C																											
18 °C				Vegetation period										Differentiation period			Bulbing & bolting period										
19 °C																											
20 °C																											
21 °C																											
22 °C																											
23 °C																											
24 °C																											
25 °C	Damaged by hot weather																										
:																											

Fig. 1. Temperature conditions by the growth stages of southern-type garlic (Namhae Agricultural Technology Center, 2011).

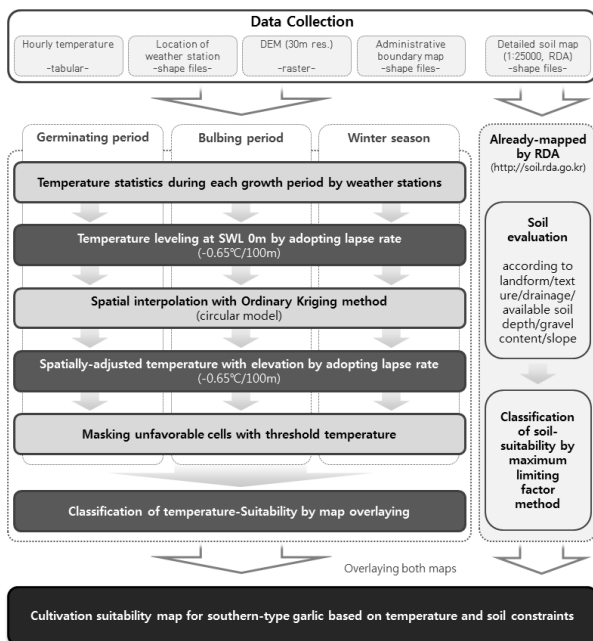


Fig. 2. Procedure for the suitability analysis of southern-type garlic depending on temperature and soil conditions.

지도를 작성하였다. 다음 발아기와 구비대기의 수치온도지도 (digital temperature map)를 중첩하여 재배가능지역을 추출하고 다시 겨울철의 수치온도지도를 중첩하여 난지형 마늘에 대한 온도요인만의 재배적지를 분류하였다. 그리고 농촌진흥청 흙토람의 토양상별 마늘 재배 적지지도와의 그리드 연산 (grid algebra)을 통하여 최종에는 온도와 토양 요인 모두를 고려한 난지형 마늘의 재배적지 지도를 완성하였다.

결과 및 고찰

기온조건에 따른 분류 기온조건을 고려한 난지형 마늘의 재배적지분석을 위하여 2000년부터 2010년까지의 기상자료를 수집하고 발아기, 구비대기, 겨울철의 기온자료를 보강하여 격자자료로 작성한 후 모두 중첩하여 적지와 부적지 2단계로 나누어 기온요인만을 고려한 난지형 마늘의 재배적지 분류도를 작성하였다 (Fig. 3).

발아기와 구비대기의 경우 산간지역을 제외한 지역에서 각각 남한 면적의 63.2%에 해당하는 6,155,377 ha, 61.8%에 해당하는 6,026,152 ha가 난지형 마늘의 재배적지로 분류되었다. 겨울철 동해온도를 고려하면 남부지역인 영·호남지역을 중심으로 약 2,789,975 ha (28.6%)만이 재배적지로 분류되었다. Fig. 3의 생육단계별 기온조건을 고려한 모든 지도를 중첩하면 난지형 마늘이 겨울철에 동해피해를 입지 않고 재배될 수 있는 지역은 주로 영·호남지역에서 약 2,460,803 ha가 되는 것으로 분석되었다 (Fig. 4(a)).

기온조건과 토양조건에 따른 분류 기온과 토양조건을 모두 고려한 난지형 마늘의 재배적지분류를 위하여 발아기, 구비대기 그리고 겨울철의 기온조건을 고려한 난지형 마늘의 재배적지분석 결과 (Fig. 4(a))와 농촌진흥청에서 작성한 토양상별 마늘 재배적지 분석결과 (Fig. 4(b))를 중첩하였다.

Fig. 4에서 보듯이 토양상별 마늘의 재배적지는 주로 서해안과 남해안을 따라 분포되었지만 난지형 마늘의 재배기

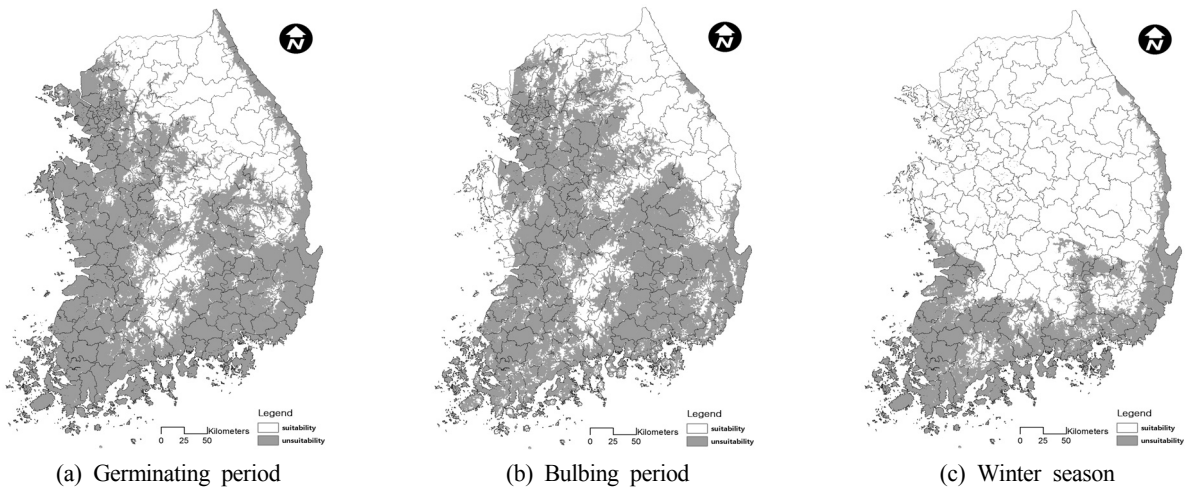


Fig. 3. Suitability of southern-type garlic considering only temperature constraints by the growth stages.

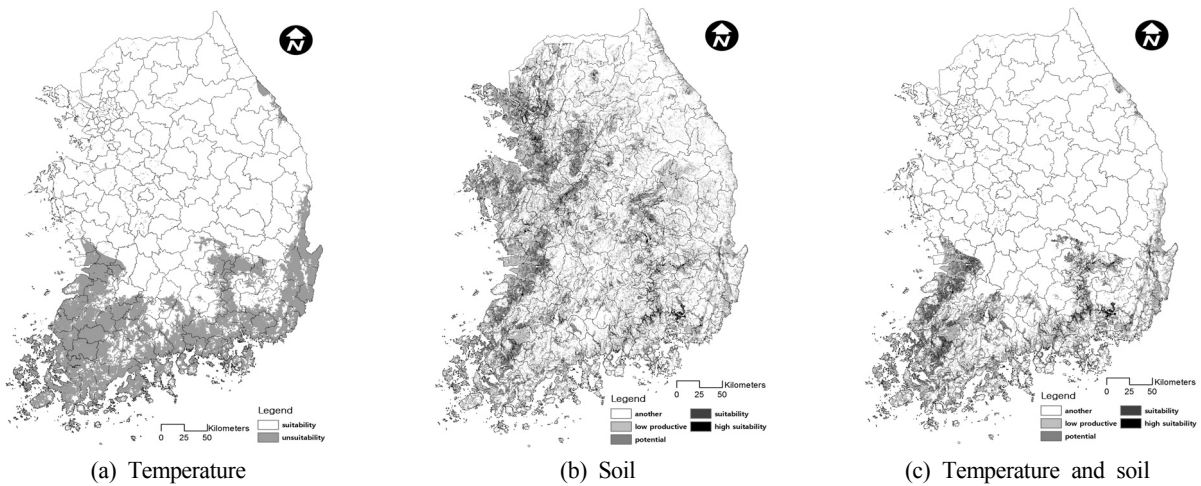


Fig. 4. Suitability maps depending on cultivation constraints for southern-type garlic.

Table 2. Arable area by suitability classes and constraints for southern-type garlic.

Constraints \ Suitability	Soil		Temperature and soil	
	Area	Rate of area	Area	Rate of area
	ha	%	ha	%
Highly suitable	41,938	0.4	23,784	0.2
Suitable	653,568	6.8	250,555	2.6
Possible	1,130,500	11.7	456,298	4.7
Low productive	1,745,688	18.1	645,734	6.7
Others	6,078,528	63.0	8,273,851	85.7
Total	9,650,222	100.0	9,650,222	99.9

Table 3. Area distribution and area depending on degree of cultivation suitability for southern-type garlic at leading production Si-Guns.

Si-Gun	Highly suitable	Suitable	Possible	Low productive
	ha			
Naju	585	13,473	12,943	10,686
Jeongeup	609	13,235	10,238	16,497
Gochang	205	12,072	15,588	12,815
Jinju	1,416	9,639	8,662	7,719
Changyeong	1,607	8,106	7,083	4,326

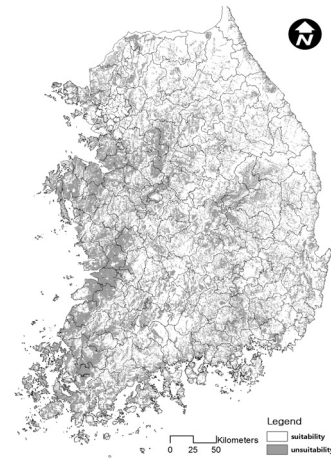
Table 4. Comparison of the classified and the recorded area at the leading production area of southern-type garlic (unit: ha).

Si-Gun	KOSIS (2010)		Results by the applied constraints	
	Cultivation area	Paddy and upland	Temperature and soil	Temperature, soil and land use
Goheung	2,167	22,738	3,212	2,613
Sinan	1,785	20,004	2,253	1,673
Haenam	1,447	34,835	5,092	4,365
Namhae	1,397	6,542	958	782
Muan	593	19,578	5,216	4,183

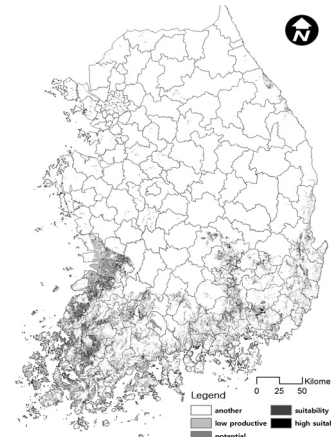
온을 같이 고려한 결과는 동해안에 접한 일부 강원 지역을 제외하고 대부분 영·호남지역을 중심으로 분류되었다. 전국적으로 토양조건만 고려하였을 경우보다 최적지와 적지로 분류된 면적이 274,339 ha로 약 60% 정도 줄어들었다. 최적지와 적지 면적의 합이 큰 상위 시군을 살펴보면 나주시 14,058 ha, 정읍시 13,845 ha, 고창군 12,278 ha의 순으로 나타났다 (Table 2, 3). 최적지로만 본다면 진주와 창녕이 각각 1,416 ha와 1,607 ha로 가장 넓은 재배적지를 갖는 것으로 분석되었다. 한편 난지형 마늘 주산지지로 알려진 무안, 해남, 고흥, 신안, 남해 등의 최적지와 적지 면적의 합은 각각 5,216 ha, 5,092 ha, 3,212 ha, 2,253 ha, 958 ha로 분석되었다 (Table 4).

실제 재배면적과 분석결과의 비교 마늘 재배는 토지 이용상 논과 밭에 한하므로 환경부 중분류 토지피복지도를 이용하여 Fig. 5와 같이 마늘 재배적지를 한정하였다. 농촌진흥청 정밀토양도에서 논토양과 밭토양을 구분하고는 있으나 토지피복지도와 다시 중첩하여 적지분석 결과를 논과 밭 토지이용 지역을 제외한 픽셀을 제거하였다. 최종 적지 분석 결과를 국가통계포털 KOSIS (Korea Statistical Information Service)의 2010년 자료와 비교하면 Table 4와 같다. 전남 고흥군과 신안군은 최적지와 적지의 면적이 실제 재배면적과 비슷한 2,613 ha, 1,673 ha로 나타났으나 전남 해남군과 무안군은 4,365 ha, 4,183 ha로 실제 재배면적보다 크게 분류되었고 남해군은 782 ha로 최적지와 적지로 분류된 면적이 통계자료와 많은 차이를 나타냈다.

본 연구는 토양, 기후, 토지이용 등의 환경조건을 분석하여 난지형 마늘 재배에 적절한 잠재적 재배가능면적을 분류한 것이기 때문에 시장과 농민들의 선호에 영향을 받는 실제 재배면적과는 상당한 괴리가 있을 수밖에 없다. 그러므로 현재 난지형 마늘의 주산지지로 알려져 있는 무안, 해남, 고흥, 신안 지역의 경우도 재배면적을 확대할 수 있는 여지가 많으며 비주산지인 전남 나주, 장흥, 전북 고창, 경남 진주 등에서도 재배가능면적이 넓게 분포함을 확인할 수 있었다. 한편 난지형 마늘의 대표적 주산지인 남해의 경우엔 통계상 재배면적 1,397 ha인 반면 적지분석의 결과는 782 ha에 그쳤는데 기후요인에 제약을 많이 받기 때문이다. 남쪽



(a) Land cover map by the Ministry of Environment



(b) Cultivation suitability

Fig. 5. Cultivation suitability for southern-type garlic considering temperature, soil and land use conditions.

에 위치함에도 구비대기의 평균기온이 17~19℃로 주변보다 1~2℃ 낮게 관측되었고 섬 지역의 특성상 농지가 소규모로 파편화되어 있어서 격자자료로 변환할 때 손실된 면적의 영향도 있었을 것으로 추정된다.

요 약

본 연구는 난지형 마늘의 생육시기별 기온을 고려하고 토양조건을 반영하여 난지형 마늘의 재배적지를 분석하였

다. 그 결과 난지형 마늘의 재배적지는 영·호남지방을 중심으로 분포되었다. 그 중 최적지와 적지로 분류된 면적이 많은 지역은 나주시 14,058 ha, 정읍시 13,845 ha, 고창군 12,278 ha, 진주시 11,055 ha, 창녕군 9,713 ha 등으로 나타났다. 난지형 마늘 주생산지의 경우 무안군이 5,216 ha, 해남군 5,092 ha, 고흥군 3,212 ha, 신안군 2,253 ha, 남해군 958 ha로 각각 분석되었다. 그리고 토지이용조건을 추가로 고려하여 분석한 결과와 주생산지의 실제 난지형 마늘재배 면적을 비교한 결과 고흥군과 신안군이 실제 재배면적과 비슷하게 분석되었으며 해남군과 무안군은 실제재배면적보다 크게 나타났고 남해군의 경우는 분석결과가 작게 나타났다.

작물 재배는 여러 가지 생육조건과 사회적 영향 등을 고려하여 이루어지므로 난지형 마늘의 실제 주생산지와 본 연구에서 나타난 난지형 마늘 재배적지는 다소 차이가 있다. 하지만 향후 우리나라에서 난지형 마늘 재배 시 본 연구에서 도출된 재배적지 분석결과를 이용하게 되면 난지형 마늘의 효율적인 재배가 가능 할 것으로 사료되며 보다 효율적인 재배적지 분석을 위해서는 차후 토양과 기온조건 외에도 농업수리 등 다른 변수들도 고려되어야 할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2008년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (No. KRF-2008-331-D00779)과 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호 : PJ005376)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

- Ha, J.S. 2003. The Relationship between the distribution of crops and climate elements in Korea -The case of early rice, garlic, winter Chinese cabbage. Master Thesis. Konkuk University, Korea.
- Jang, D.H. and J.H. Park. 2008. A change on the distribution of kiwifruit cultivation due to temperature rising in the Jeonnam Southern Coast. J. Korean Geomorpholog. Asso. 15(1):83-92. (in Korean)
- Kim, H., H.J. Kim, S. M. Choi, and S. H. Lee. 2011. A GIS-based analysis for suitable site of *Chisandra chinensis* cultivation - Focused on Jangsu County fores. J. Agri. Life Sci. 45(1):41-47.
- Kim, S.O., U.R. Chung, S.H. Kim, I.M. Choi, and J.I. Yun. 2009. The suitable region and site for 'Fuji' apple under the projected climate in South Korea. Korean J. Agri. Forest Meteorol. 11(4):162-173.
- Kim, T.J. and G.S. Lee. 2006. The site analysis for crop cultivation using GIS-based AHP method. Korean Soc. Civil Eng. 26(4D):695-702.
- Kim, Y.W., S.Y. Hong, and M.W. Jang. 2011. Comparison between spatial interpolation methods of temperature data for garlic cultivation. J. Korean Soc. Agri. Eng. 53(5):1-7.
- Korean Statistical Information Service (KOSIS). 2011. Production of vegetable. [Http://www.kosis.kr](http://www.kosis.kr). Accessed 1 Jun. 2011.
- Kwak, T.S., J.H. Ki, Y.E. Kim, H.M. Jeon, and S.J. Kim. 2008. A study of GIS prediction model of domestic fruit cultivation location changes by the global warming - Six tropical and sub-tropical fruits -. J. Spat. Infor. Sys. Soc. Korea 10(3):93-106. (in Korean)
- Lee, G.S., T.J. Kim, and S.M. Sim. 2007. The selection of suitability area for black raspberry cultivation considering GIS-based soil erosion characteristics. Korean Soc. Civil Eng. 27(5D):673-678.
- Namhae Agricultural Technology Center (NATC). 2011. New year practical education for farmers 46.
- Nam, S.S., I.H. Choi, J.K. Bang, K.H. Kang, and C.D. Jeong. 2008. Studies on cultivation method using large bulbils of 'Namdo' cultivar in southern type garlic. Treat. Crop Res. 9(9):477-492.
- Shin J.H., J.C. Ju, O.C. Kwen, S.M. Yang, S.J. Lee, and N.J. Sung. 2004. Physicochemical and physiological activities of garlic from different area. Korean J. Food Nutrition. 17(3):237-245.