

최근의 기후변화를 고려한 가을보리 안전재배지대 구분

심교문 · 이정택 · 이양수 · 김건엽

농업과학기술원

(2004년 10월 29일 접수; 2004년 11월 24일 수락)

Reclassification of Winter Barley Cultivation Zones in Korea Based on Recent Evidences in Climate Change

Kyo-Moon Shim, Jeong-Taek Lee, Yang-Soo Lee and Gun-Yeob Kim

National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea

(Received October 29, 2004; Accepted November 24, 2004)

ABSTRACT

Recent warm winters were evaluated for a possible shifting of the northern limit for winter barley cultivation in Korea. Therefore, safe zones for winter barley cultivation were reclassified based on the average and minimum January air temperature in recent years. The results are as follows: By analysis of mean values of January average air temperatures for 30 years (1971~2000), the northern limits for safe cultivation of hulled, naked, and malting barley were Ganghwa - Icheon - Chungju - Chunyang - Goseong, Cheonan - Geumsan - Mungyeong - Andong - Sokcho, and Gwangju - Jangheung - Sancheong - Pohang - Uljin lines, respectively. Meanwhile, based on the January average air temperature of 14 years (1987~2000) with warmer winters, the safe cultivation zone of winter barley shifted northward of the normal (1971~2000). So, the northern limits for hulled, naked, and malting barley were Pocheon - Chuncheon - Wonju - Yangpyeong - Chunyang, Ganghwa - Icheon - Chungju - Uiseong - Goseong, and Gunsan - Suncheon - Jinju - Miryang - Yeongdeok - Uljin lines, respectively. Winter barley cultivars with the strongest tolerance to low temperature can be grown up to the adjacent areas of Taebaek Mountains (that is, Inje, Hongcheon, Jecheon, and Taebaek areas). Based on January mean air temperatures of 10-year return period for 30 years (1971~2000), the northern limits for hulled and naked barley were Boryeong - Namwon - Geochang - Gumi - Goseong and Seochon - Jeongeup - Hapcheon - Yeongdeok - Sokcho lines, respectively. It appears that malting barley can be cultivated only at southern coastal areas (that is, Busan, Tongyeong, Yeosu, and Wando areas). On the other hand, based on the weather conditions of 14 years (1987~2000) with warmer winters, the northern limits for hulled, naked, and malting barley were Ganghwa - Icheon - Yeongju - Goseong, Seosan - Namwon - Mungyeong - Andong - Sokcho, and Gwangju - Jangheung - Sacheon - Ulsan - Uljin lines, respectively. The northern limit for winter barley cultivars including Olbori with the strongest tolerance to low temperature was the Ganghwa - Wonju - Chungju - Chunyang - Goseong line.

Key words : Climate change, Cultivation zone, Winter barley

I. 서 언

농작물의 안전재배지대를 구분하는 데에는 기상조건,

토양조건, 작물의 특성, 사회경제적 조건 등이 필요하지만, 그 가운데 작물재배 자체에 한정한다면 기상조건만 있어도 어느 정도 재배한계를 결정할 수 있다(최,

2001). 기상조건에 의한 안전재배지대를 결정하는 방법에는 세 가지가 있다(차 와 김, 1989). 첫째로, 실제로 재배해 보아 안전재배지대를 결정하는 방법: 어떤 농작물을 실제로 각지에서 재배해 보아 몇 개의 재배한계지대 구분선과 안전재배지대 구분선을 결정하는 방법으로서 가장 과학적이지만 대단한 노력을 요한다. 둘째로, 현재의 재배분포상태로부터 안전재배지대를 결정하는 방법: 현재의 재배분포 상태를 조사하여 그 한계지점의 기상환경과 같은 지점을 연결하여 재배한계지대와 안전재배지대를 구분하는 방법으로서 다른 종류의 농작물 재배분포와 식물분포를 이용하기도 한다. 셋째로, 이론적으로 안전재배지대를 구분하는 방법: 재배한계와 농작물의 작황, 그리고 기상과의 관계를 충분히 고려하여 이론적으로 안전재배지대를 추정하는 방법으로서 현재의 안전재배지대는 물론 장래 예상되는 안전재배지대도 추정할 수 있다.

농업기후지대는 재배작물 등 사용목적에 따른 분류 기준에 의하여 다양하게 구분할 수 있다. 농업기후지대의 구분은 주로 작물별 안전재배지대구분과 기상재해대책 수립을 위하여 이루어지고 있다. 작물별 기후지대는 지역별로 각기 주요생육시기에 따라 생육과 수량에 크게 영향을 주는 기후요소의 분포를 중심으로 비슷한 특성을 가진 지역들을 묶어서 구분하게 된다(최 와 윤, 1989). 일본에서는 농업재해 발생상에 따라 논벼는 9개 지역으로, 맥류는 8개 지역으로 구분한 바 있으며(Daigo *et al.*, 1953), 일본의 동북지방을 대상으로 각종 기후요소를 분석하여 수도재배지대를 21개 지대로 다시 세분하기도 하였다(Kojima, 1973). 또한 일본에서는 겨울철의 기후를 근거로 하여 맥작지대를 춘파지대 등 5지대로 구분하였다. 우리나라에서는 최(1987)가 최초로, 전국에 걸쳐 155개소에 관측된 기상 자료를 분석·평가하여 벼농사에 대한 농업기후지대를 19개 지대로 세분하여 구분하였다(농업기술연구소, 1986). 또한, 중앙기상대(1988)에서 기후요소와 지역특성 및 자연식생을 고려하여 우리나라의 기후지대를 구분한 바 있으나 작물재배에 바로 이용하기에는 어려움이 있고, 1989년에 농촌진흥청에서는 농업생산을 지배하는 온도, 강수량, 일조시간 등 여러 가지 기상요소들의 지역별 분포를 파악하여 벼, 보리 등 44개 기본작물에 대한 농업지대구분도를 작성하였고, 시·군별로 작목임식도와 작부체계도를 작성하였다(농촌진흥청, 1989). 그리고 농업기술연구소에서는 원예시험장과 공

동으로 우리나라의 주요 과수인 사과, 배, 복숭아, 포도를 대상으로 하여 농업기후지대 구분과 안전재배 기준을 설정하였다(농업기술연구소, 1990).

보리의 안전재배지대 및 재배한계지대의 구분에 대하여 살펴보면, 1930년에 우리나라에서 재배되었던 보리의 지역별 분포에 대한 통계자료를 근거로 하여, 가을보리의 재배한계선을 구분하였을 때, 1월 평균기온 -6°C 의 등온선과 일치하였고, 벼와 이모작을 위한 가을보리의 재배한계선은 1월 평균기온 -4°C 의 등온선 부근이었다. 또한 1월 평균기온 -8°C 의 등온선 부근은 봄보리의 재배한계지역이었다. 그리고 1989년 농촌진흥청에서 발간된 농업지대구분도는 1월 최저기온의 지역적 분포에 따라 걸보리 3지대(1월 최저기온: -5 , -7 , -9°C), 쌀보리 3지대(1월 최저기온: -4 , -3 , -2°C), 맥주보리 1지대(1월 최저기온: -3°C)로 구분하였다(농촌진흥청, 1989). 박(1999)은 보리재배의 한계지대는 내한성이 강한 걸보리가 1월 평균기온이 -5°C 이상(1월 최저기온: -12°C 이상)인 지역이나 안전재배지역은 1월 평균기온이 -4°C 이상(1월 최저기온: -10°C 이상)인 지역으로 볼 수 있으므로 황해도의 서남해안 지방을 제외한 북한지역은 대부분 춘파재배 지역으로 볼 수 있다고 하였고, 윤(2000)은 1월 평균기온과 최저기온으로 맥종별(걸보리, 쌀보리, 맥주보리) 안전재배지역 및 재배한계지역을 설정하였고, 품종을 내한성 정도에 따라 5등급으로 구분하여 품종별 안전재배지역을 설정하였다.

가을보리를 비롯한 월동작물의 한해위험지구의 판정 및 안전재배한계지대의 구분에는 작물 자체의 내한성이 중요하다. 그러나 어떤 온도에서 어느 정도의 피해가 발생할 것인지에 대한 기준이 명확하지 않아서 문제가 된다. 보리의 경우는 품종에 따라 한계온도가 다를 것이며, 가을에 파종하여 혹한기를 지내는 경우와 봄에 파종하여 수확하는 경우가 다를 것이다. 그러나 한계온도만으로는 불충분하며 이와 같은 위험온도가 어느 정도의 비율로 발생하느냐가 중요하다. 坪井(1986)는 위험온도가 일반적으로 10년에 1회 이내의 비율로 발생하는 지구를 안전지구, 10년에 5회까지는 요주의지구, 10년에 5회 이상 발생하는 지구는 부적지로 판단하였으며, 각 관측지점에 대해서 10년, 5년의 재현기간을 구하여 분포도를 작성하여 작물의 안전재배지대 구분에 활용할 수 있다고 하였다(Ando, 1969).

이와 같은 자연의 불확실한 변량(기상요소)을 놓고

계획과 대책을 수립할 경우에는 안전성을 추정한 결과를 따라야 하는데, 이런 경우에 일반적으로 과거의 관측자료를 이용하여 확률 추정치 및 계획량을 구하게 된다(Schwab *et al.*, 1980). 재현기간(return period)은 확률 추정치를 구하는 경우로 재현기간이 10년이라는 것은 확률적으로 10년에 1번 나타나는 것을 의미하고, 재현기간이 2년이라는 것은 확률적으로 2년에 1번 나타나는 것을 의미한다. 이를 농작물의 재해에 대한 안전성에 비추어 설명하면, 재현기간 10년과 5년은 농작물 재해위험성에 각각 10년에 9번과 2년에 1번 안정하다는 것을 의미한다(坪井, 1995).

근래 지구온난화현상과 더불어 우리나라에 ‘춥지 않은 겨울’ 날씨가 지속됨에 따라 가을보리 안전재배지역의 북상이 논의되고 있다. 본 연구는 ‘춥지 않은 겨울’ 날씨를 보인 1987년부터 2000년까지 14년(심 등, 2000)과 평년(1971~2000년) 기상환경을 바탕으로 새로운 가을보리의 안전재배지대 설정을 시도하였다.

II. 재료 및 방법

작물재배의 적지 혹은 부적지의 판정은 기상조건 뿐만 아니라, 토양의 비옥도, 토층의 깊이, 배수등급 등 토양조건에 따라서 크게 좌우된다. 본 연구에서는 기상조건에 따른 안전재배지대 구분에 주력하였다. 월동작물에 대한 안전재배지대 구분에는 월동기간의 온도조건이 가장 중요하다. 작물의 안전한 월동은 가장 추

Table 1. Average and minimum air temperature(°C) in January for classification of safe cultivation zones of three groups of winter barley.

Group	Average air temperature	Minimum air temperature
Hulled barley	-4	-10
Naked barley	-3	-8
Malting barley	0	-4

운 때의 최저온도가 기름하기 때문이다. 따라서 기후 변화에 따른 가을보리의 맥종과 품종별 안전재배지대의 변화를 살펴보기 위해, 최한월인 1월의 평균기온과 최저기온을 기준으로 농촌진흥청 작물시험장에서 구분한 자료를 이용하였다(Table 1, 2). 여기서 맥종별로는 형태에 따라 크게 3가지(겉보리, 쌀보리, 맥주보리)로, 품종별로는 내한성의 정도에 따라 5단계로 구분하였다(윤의병, 2000).

그리고 가을보리의 안전재배지대 구분에 이용한 기상자료(1월 평균기온 및 최저기온)는 기상청 산하 68개의 관측지점 중에서 제주도(4지점)와 울릉도의 관측지점(1지점)을 제외한 63개 관측지점에서 관측한 자료를 활용하였다. 관측지점 중에서 1980년대 중반에 설치한 관측지점(안동 등 6지점)의 1970년대 및 1980년대의 결측된 기상자료는 1987년 이후에 측정된 기상자료를 서로 비교하여 가장 비슷한 기상패턴을 보인 관측지점의 연도별 기상자료로부터 비례식으로 결측된 연도의 기상을 추정하였다.

Table 2. Average and minimum air temperature (°C) in January for classification of safe cultivation zones of 39 winter barley cultivars.

Type	Group	Cultivar	Average air temperature	Minimum air temperature
I	Hulled barley	Olbori, Kangbori, Tapgolbori, Chalbori, Saegangbori, Seodunchalbori	-5	-12
II	Hulled barley	Saeolbori	-4	-10
	Naked barley	Chalssalbori, Saechalssalbori		
III	Hulled barley	Keunalbori, Milyangkebori, Saecalbori, Miragbori, Alchanbori, Daebaegbori, Albori	-3	-8
	Naked barley	Nachanssalbori		
IV	Hulled barley	Oweolbori, Daejinbori, Nagyeoungbori	-2	-6
	Naked barley	Songhagbori, Olssalbori, Neulssalbori, Kinssalbori, Hinssabori, Hinchalssalbori, Mudeungssalbori, Chunchussalbori, Kwanghawalssalbori, Kanghossalbori		
V	Naked barley	Duwonchapssalbori	0	-4
	Malting barley	Sacheon 6, Doosan 8, Doosan 22, Jinkwangbori, Jejubori, Jinyangbori, Samdobori, Namhyangbori		

2.1. 산술평균에 의한 구분

가을보리의 안전재배지대를 결정하는 기준온도인 1월 평균기온과 최저기온을 평년(1971~2000년)과 '춥지 않은 겨울' 날씨를 보인 14년(1987~2000년)으로 나누어 각 기간별 산술평균값을 산출하였다. 이 값을 이용하여 가을보리의 맥종 및 품종별 내한성에 따라 안전재배지대를 구분하였다.

2.2. 재현기간에 의한 구분

재현기간 5, 10, 20년에 해당하는 1월 평균기온과 최저기온을 각 기간별(평년, 최근 14년)로 계산하여 가을보리의 안전재배지대 구분에 활용하였다. 기상요소의 재현기간(Return period) 계산은 연차에 관계없이 기상요소를 낮은 순서로 나열한 후, Ando(1977)가 제안한 다음의 경험식(1)을 이용하여 순위에 해당하는 기상요소의 재현기간(T_j)을 구하였다.

$$T_j = \frac{2N}{2^j - 1}, \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (1)$$

여기서, T_j 는 재현기간, j 는 순위, N 은 통계연수이다.

그리고 종축을 대수(로그)눈금으로 하여 여기에 각 기상요소의 재현기간을 기입하고 횡축에는 기상요소(1월 평균 및 최저기온)를 넣어 그것에 대응하는 점을 구하고, 이들 각 점을 수렴하는 추세선을 구한 다음(본 연구에서는 지수함수식으로 구함), 각 재현기간(5, 10, 20년)에 해당되는 기상요소(1월 평균 및 최저기온)를 구하여 안전재배지대 구분에 활용하였다. 본 연구에서는 재현기간 10년(10%확률)에 해당하는 1월 평균기온과 최저기온을 이용하였다. 재현기간 10년은 90%의 안전성이 보장되는 구분방법으로 농작물의 재해위험도 지표에서 안전지대로 구분하는 수치로 널리 활용되고 있다.

2.3. 등온선 표출방법

기상청 산하 63개 관측지점의 연도별(1971~2000년) 관측자료를 이용하여 각 기간별(평년, 최근 14년)로 계산한 산술평균 기상값(1월 평균기온 및 최저기온)과 재현기간 10년에 해당하는 기상값(1월 평균기온 및 최저기온)을 지도상에 등치선으로 표출하기 위하여 격자분석 및 표출시스템(Grid Analysis and Display System;

Table 3. Mean values(°C) of January average air temperatures for 30 years(1971~2000) and warm winter years(1987~2000) at 63 weather stations.

Weather station	N.	W. W.	Weather station	N.	W. W.	Weather station	N.	W. W.
Sokcho	-0.2	0.3	Masan	2.5	3.0	Imsil	-3.1	-2.3
Cheorwon	-6.1	-5.3	Gwangju	0.5	1.1	Jeongeup	-0.7	0.0
Daegwallyeong	-7.6	-7.0	Busan	3.0	3.7	Namwon	-1.6	-1.0
Chuncheon	-4.5	-3.6	Tongyeong	2.7	3.2	Jangsu	-3.7	-2.8
Gangneung	0.3	1.0	Mokpo	1.8	2.4	Suncheon	-0.5	0.1
Seoul	-2.5	-1.8	Yeosu	2.2	2.8	Jangheung	0.4	0.9
Incheon	-2.4	-1.7	Wando	2.7	3.3	Haenam	1.2	1.8
Wonju	-4.8	-3.5	Jinju	0.1	0.5	Goheung	1.2	1.6
Suwon	-3.2	-2.0	Ganghwa	-3.9	-3.0	Chunyang	-4.0	-3.5
Chungju	-4.1	-3.0	Yangpyeong	-4.9	-3.6	Yeongju	-3.2	-2.3
Seosan	-1.9	-1.3	Icheon	-3.9	-2.7	Mungyeong	-2.0	-1.5
Uljin	1.0	1.5	Inje	-5.2	-4.5	Yeongdeok	0.5	1.1
Cheongju	-2.8	-1.7	Hongcheon	-5.6	-4.8	Uiseong	-3.6	-3.1
Daejeon	-1.9	-1.0	Taebaek	-5.2	-4.8	Gumi	-1.8	-1.1
Chupungnyeong	-2.1	-1.6	Jecheon	-5.3	-4.9	Yeongcheon	-1.3	-0.7
Andong	-2.7	-1.7	Boeun	-3.8	-2.9	Geochang	-1.8	-1.3
Pohang	1.6	2.1	Cheonan	-3.0	-2.1	Hapcheon	-0.7	-0.1
Gunsan	-0.4	0.2	Boryeong	-1.2	-0.4	Miryang	-0.2	0.5
Daegu	0.2	0.9	Buyeo	-2.1	-1.3	Sancheong	0.0	0.5
Jeonju	-0.6	-0.1	Geumsan	-2.9	-2.2	Geoje	1.9	2.5
Ulsan	1.6	2.3	Buan	-0.9	-0.2	Namhae	1.7	2.4

N. and W. W. mean Normal (1971~2000) and Warm Winter period (1987~2000), respectively.

GrADS)을 사용하였다. 이 시스템은 기상자료를 지도 상에 표출하고 분석하는데 이용되고 있는데 비록 중규모 이상의 기후시스템에 적합하도록 제작되었지만, 관측지점의 위도와 경도만 주어지면 관측지점들의 기상자료로 다른 격자 점들에 해당하는 기상 값을 추정할 수 있고, 이 시스템의 OACRES기능을 이용하면 간단하게 등치선을 표출할 수 있기 때문에 채택하였다. 격자점의 간격은 $0.1 \times 0.1^\circ (11.1 \times 11.1\text{km})$ 로 하였고 각 격자의 기온내삽은 거리역산가중법(Inverse Distance Weighting; IDW)을 이용하였다. 거리역산가중법은 내삽을 하려는 위치의 거리로부터 근처에 측정된 값이 있으면 가중치가 커지고 멀어질수록 가중치가 작아지는 방법이다. 그리고 본 연구에 활용한 63개 관측지점 간에 가장 멀리 떨어진 관측지점사이의 거리는 52.2km이었고, 가장 가까운 관측지점간의 거리는 17.1km이었으며, 평균거리는 30.4km이었다.

III. 결 과

3.1. 산술평균에 의한 안전재배지대 구분

3.1.1. 맥종별 안전재배지대 구분

본 연구에 이용한 맥종별 1월 평균기온과 최저기온의 기준온도는 Table 1과 같다. Table 3은 63개 관측지점의 1월 평균기온을 분석기간별(평년, 최근 14년)로 산술평균한 기상값이며, Fig. 1은 이 산술평균값을 근거로

각 격자의 기상값을 산출한 다음, 같은 기상값을 등치선으로 연결하여 맥종별 안전재배지대를 구분한 것이다.

최근 14년(1987~2000) 동안의 따뜻한 겨울기상은 가을보리 안전재배지대의 북상을 가능하게 하였다. 따라서 구분된 안전재배지대 한계선을 보면 겉보리는 포천-춘천-원주-양평-춘양 지역을 잇는 선으로, 쌀보리는 강화-이천-충주-의성-고성 지역을 잇는 선으로, 맥주보리는 군산-정읍-순천-진주-밀양-영덕-울진 지역을 잇는 선으로 구분되었다. 이와는 달리, 평년(1971~2000년)의 기상조건으로 보면 겉보리는 이천-충주-춘양-고성 지역을 잇는 선으로, 쌀보리는 천안-청주-금산-문경-안동-속초 지역을 잇는 선으로, 맥주보리는 광주-장흥-산청-포항-영덕-울진 지역을 잇는 선으로 구분되어 최근 14년(1987~2000년)보다 남쪽에 위치하였다.

Table 4는 63개 관측지점의 1월 최저기온을 분석기간별(평년, 최근 14년)로 산술평균한 기상값이며, Fig. 2는 이 산술평균값을 근거로 각 격자의 기상값을 산출한 다음, 같은 기상값을 등치선으로 연결하여 맥종별 안전재배지대를 구분한 것이다. 1월 평균기온과 마찬가지로 기온이 상승되어 최근 14년(1987~2000)의 기상조건에서 가을보리 안전재배지대가 북상하였다. 그러나 맥종별 안전재배지대의 구분에는 차이가 있었는데, 내한성이 강한 겉보리는 1월 평균기온에 따른 구분보다 최저기온을 기준으로 구분된 선이 조금 북상하였지만, 내한성이 약한 맥주보리는 오히려 남하한 결

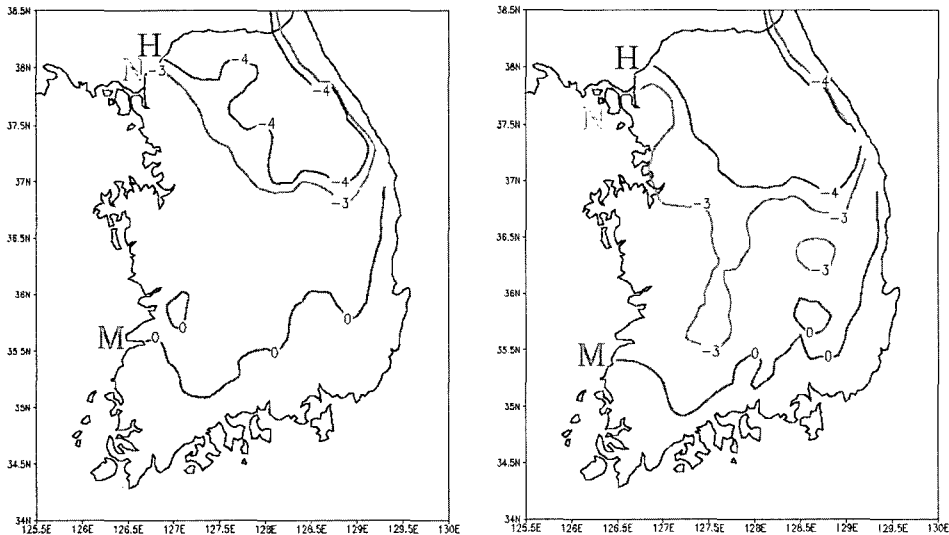


Fig. 1. Safe cultivation zones for hulled (H), naked (N), and malting (M) barley divided by mean values of January average air temperatures for warm winter years (1987~2000) (left fig.) and 30 years (1971~2000) (right fig.) in Korea.

Table 4. Mean values(°C) of January minimum air temperatures for 30 years (1971~2000) and warm winter years (1987~2000) at 63 weather stations.

Weather station	N.	W. W.	Weather station	N.	W. W.	Weather station	N.	W. W.
Sokcho	-3.8	-3.5	Masan	-1.6	-1.0	Imsil	-8.6	-7.5
Cheorwon	-11.9	-10.9	Gwangju	-3.3	-2.7	Jeongeup	-5.2	-4.3
Daegwallyeong	-12.5	-11.7	Busan	-0.7	0.0	Namwon	-6.8	-6.3
Chuncheon	-9.7	-8.8	Tongyeong	-1.1	-0.7	Jangsu	-9.4	-8.2
Gangneung	-3.3	-2.6	Mokpo	-1.4	-1.0	Suncheon	-5.3	-4.8
Seoul	-6.1	-5.4	Yeosu	-1.1	-0.5	Jangheung	-4.3	-3.9
Incheon	-5.7	-5.0	Wando	-0.5	0.6	Haenam	-3.0	-2.6
Wonju	-10.1	-8.4	Jinju	-5.3	-4.8	Goheung	-3.8	-3.4
Suwon	-7.9	-6.4	Ganghwa	-8.8	-7.7	Chunyang	-10.8	-9.9
Chungju	-9.4	-7.9	Yangpyeong	-10.6	-8.9	Yeongju	-8.6	-7.3
Seosan	-6.0	-5.4	Icheon	-9.1	-7.7	Mungyeong	-6.7	-6.1
Uljin	-3.3	-2.7	Inje	-11.0	-10.1	Yeongdeok	-4.0	-3.3
Cheongju	-7.4	-6.2	Hongcheon	-11.6	-10.6	Uiseong	-9.9	-9.4
Daejeon	-6.3	-5.5	Taebaek	-10.1	-9.7	Gumi	-6.8	-6.0
Chupungnyeong	-6.1	-5.7	Jecheon	-11.1	-10.7	Yeongcheon	-6.5	-5.9
Andong	-8.3	-6.7	Boeun	-9.6	-8.4	Geochang	-7.4	-6.9
Pohang	-2.4	-1.4	Cheonan	-7.8	-6.9	Hapcheon	-6.2	-5.7
Gunsan	-3.6	-3.0	Boryeong	-5.5	-4.7	Miryang	-6.0	-5.2
Daegu	-4.1	-3.2	Buyeo	-7.1	-6.3	Sancheong	-4.8	-4.3
Jeonju	-4.8	-4.1	Geumsan	-8.2	-7.7	Geoje	-2.4	-1.7
Ulsan	-2.7	-2.0	Buan	-5.4	-4.4	Namhae	-2.7	-1.8

N. and W. W. mean Normal (1971~2000) and Warm Winter period (1987~2000), respectively.

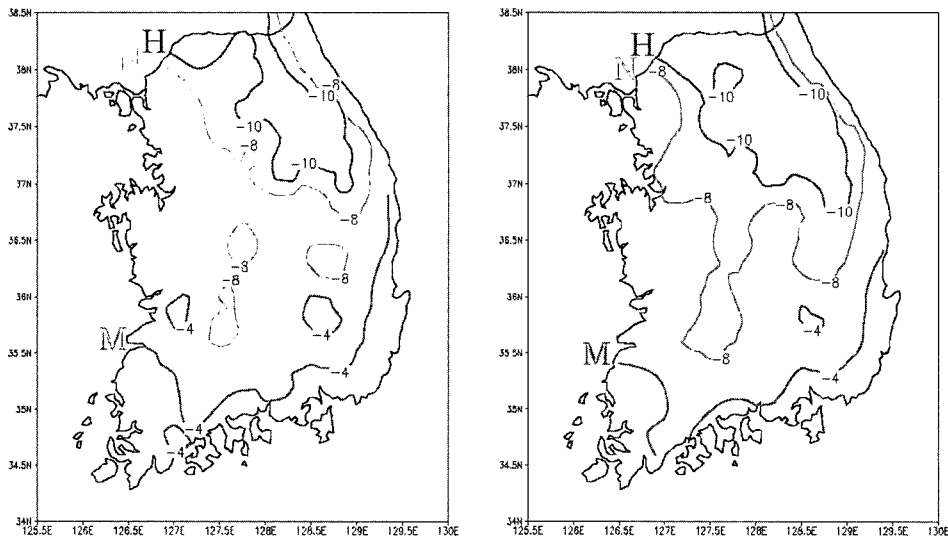


Fig. 2. Safe cultivation zones for hulled (H), naked (N), and malting (M) barley divided by mean values of January minimum air temperatures for warm winter years (1987~2000)(left fig.) and 30 years (1971~2000)(right fig.) in Korea.

과를 보였다. 1월 최저기온에 따라서 구분한 안전재배 지대 한계선을 맥종별로 살펴보면, 겉보리는 포천·춘천·원주·양평·춘양 지역을 잇는 선으로, 쌀보리는 강화·이

천·충주·의성·고성 지역을 잇는 선으로, 맥주보리는 군산·광주·광양·사천·마산·영덕·울진 지역을 잇는 선으로 구분되었고(최근 14년), 평년(1971~2000년)의 기상조

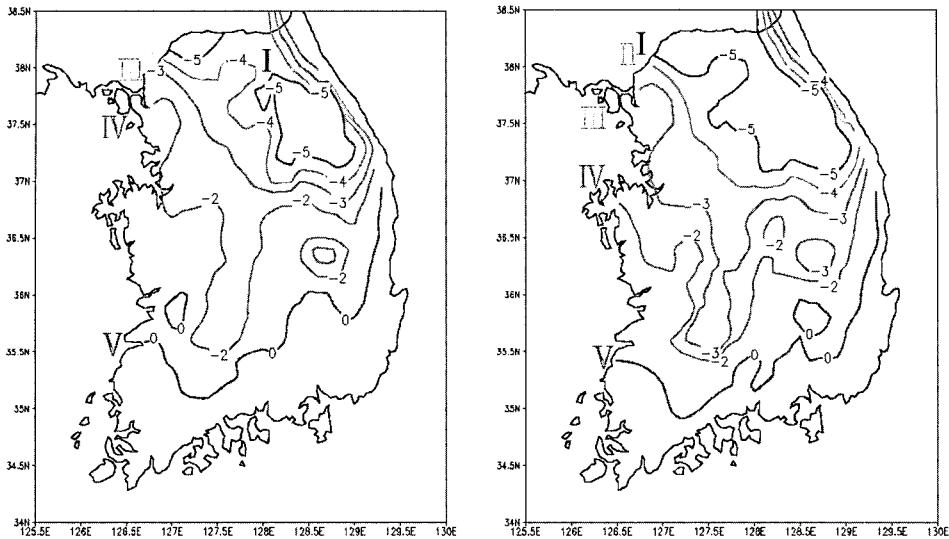


Fig. 3. Safe cultivation zones for five barley cultivar groups on winter hardiness divided by mean values of January average air temperatures for warm winter years (1987~2000) (left fig.) and 30 years (1971~2000) (right fig.) in Korea.

건에서는 길보리는 춘천-원주-충주-의성-고성 지역을 잇는 선으로, 쌀보리는 수원-천안-청주-금산-남원-문경-안동-속초 지역을 잇는 선으로, 맥주보리는 광주-해남-광양-마산-울산-포항 지역을 잇는 선으로 구분되었다.

3.1.2. 품종별 안전재배지대 구분

가을보리의 39개 품종을 내한성의 정도에 따라 크게 5등급으로 구분하였는데, 내한성이 강한 순위는 [I]>[II]>[III]>[IV]>[V] 등이다. 각 등급의 1월 평균기온과 최저기온의 기준온도는 Table 2와 같다. 분석기간별로 계산된 1월 평균기온의 산술평균값을 이용하여 품종별 안전재배지대를 구분하면 Fig. 3과 같다. 최근 14년의 1월 평균기온의 산술평균값을 근거로 보았을 때, 내한성이 가장 강한 올보리 등 [I] 구분에 해당하는 품종들은 인제, 흥천, 태백, 제천지역 등 태백산맥의 인근 지역까지도 재배가 안전한 것으로 나타났으며, 평년의 산술평균값을 근거로 보았을 때는 춘천-원주-양평-춘양 지역을 잇는 선으로 안전재배지대가 구분되었다.

Fig. 4는 분석기간별(평년, 최근 14년)로 계산된 1월 최저기온의 산술평균값을 이용하여 품종별로 안전재배지대를 구분한 것이다. 1월 최저기온도 평균기온과 비슷한 양상을 보였지만, 최저기온을 기준으로 안전재배지대를 구분하면 내한성이 강한 [II]과 [III]에 해당하는 품종들은 평균기온의 기준보다 북상하였지만, 내한성이 낮은 [IV]와 [V]에 해당하는 품종들은 오히려

남하하는 결과를 보였다.

3.2. 재현기간의 의한 안전재배지대 구분

재현기간에 의한 가을보리의 안전재배지대를 구분하기 위해서 Ando(1977)가 제안한 경험식을 이용하여 1월 평균기온에 해당하는 재현기간을 연도별로 계산하였다. 이로부터 산출된 재현기간을 로그 눈금인 종축에 기입하고 1월 평균기온은 횡축에 넣어 그것에 대응하는 점을 구한 후, 이들 각 점을 수렴하는 회귀방정식을 구하였다. 이러한 회귀방정식을 이용하여 각 재현기간에 해당하는 1월 평균기온을 구하였는데, 그 예를 Fig. 5에 나타내었다.

수원과 대구의 지난 30년(1971~2000년) 동안에 1월 평균기온의 재현기간 회귀방정식은 $\hat{Y} = -0.1958 + 0.9020e^{-0.1125x}$ 와 $\hat{Y} = -0.4259 + 0.8125e^{-0.2694x}$ 이며, 이로부터 재현기간 20, 10, 5년에 해당하는 1월 평균기온이 각각 -8.00, -6.69, -5.17°C와 -2.79, -2.08, -1.21°C로 추정되었다. 이와 같은 방법으로 전국 63개 관측지점의 각 재현기간에 해당하는 1월 평균기온을 추정하면 Table 5, 6과 같다. 그리고 이들을 추정하기 위한 회귀방정식과 결정계수는 Table 7, 8에 나타내었다.

또한, 1월 최저기온도 같은 방식으로 재현기간 회귀방정식을 이용하여 각 재현기간에 해당하는 1월 최저기온을 계산하였다. 수원과 대구의 1월 최저기온

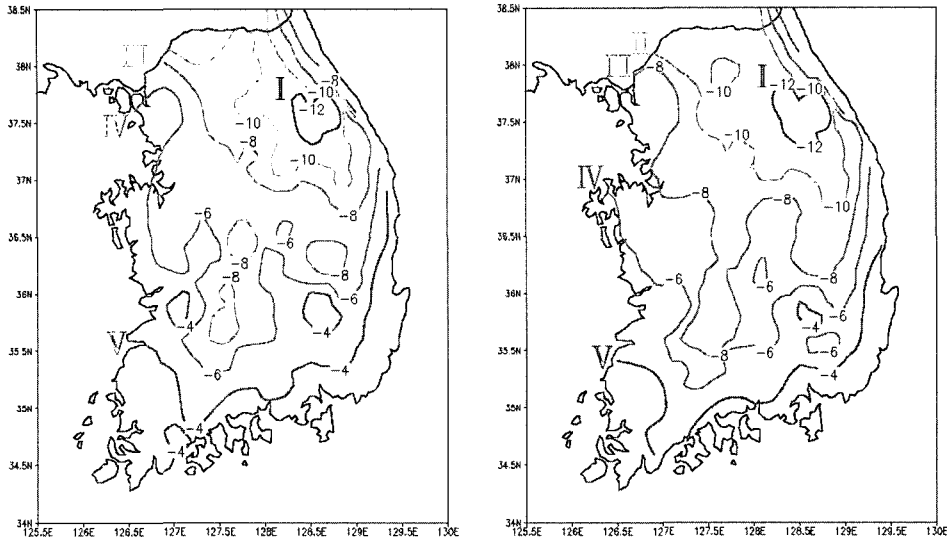


Fig. 4. Safe cultivation zones for five barley cultivar groups on winter hardiness divided by mean values of January minimum air temperatures for warm winter years (1987~2000) (left fig.) and 30 years (1971~2000) (right fig.) in Korea.

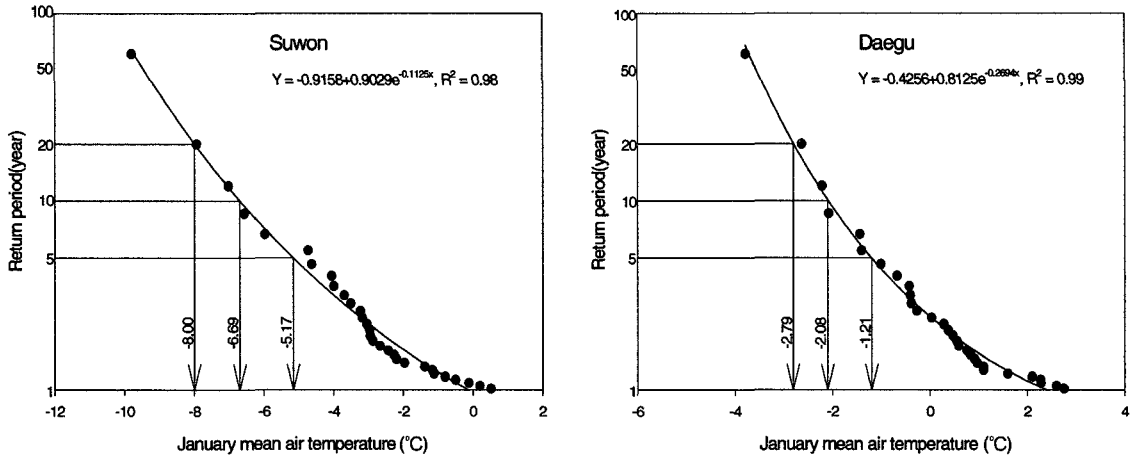


Fig. 5. Regression equations to estimate return periods (year) of January average air temperatures from 30 years (1971~2000) records at Suwon and Daegu weather stations.

(1971~2000년)의 재현기간 회귀방정식은 $\hat{Y} = -1.1145 + 0.7806e^{-0.0826x}$ 와 $\hat{Y} = -0.1173 + 0.0922e^{-0.3746x}$ 이며, 이로부터 수원과 대구의 재현기간 20, 10, 5년에 해당하는 1월 최저기온(1971~2000년)을 계산하면, 각각 -13.67, -12.06, -10.22°C와 -7.30, -6.66, -5.83°C로 추정되었다(Fig. 6). 전국 63개 관측지점의 각 재현기간에 해당하는 1월 최저기온을 살펴보면 Table 9, 10과 같다. 그리고 이들을 추정하기 위한 회귀방정식과 결정계수는 Table 11, 12에 나타내었다.

본 연구에서는 농작물의 재해위험도 지표에서 안전

지대로 구분하는 수치로 널리 활용되고 있는 재현기간 10년을 기준으로 이에 해당하는 1월 평균기온과 최저기온을 이용하여 가을보리의 안전재배지대를 구분하였다.

3.2.1. 맥종별 안전재배지대 구분

평년(1971~2000년)과 최근 14년(1987~2000년)으로 나누어서 재현기간 10년에 해당하는 1월 평균기온과 최저기온으로 맥종별로 안전재배지대를 구분하였다. 평년의 1월 평균기온(재현기간 10년)에 의한 겉보리의

Table 5. January average air temperatures (°C) with return period of 5, 10, and 20-year estimated from 30 years (1971~2000) records at 63 weather stations.

Weather station	Return period (year)			Weather station	Return period (year)			Weather station	Return period (year)		
	20	10	5		20	10	5		20	10	5
Sokcho	-2.95	-2.36	-1.61	Masan	0.10	0.70	1.40	Imsil	-6.81	-5.89	-4.77
Cheorwon	-10.10	-9.20	-8.00	Gwangju	-2.29	-1.71	-0.97	Jeongeup	-3.77	-3.07	-2.17
Daegwallyeong	-10.95	-10.19	-9.24	Busan	-0.07	0.64	1.52	Namwon	-4.60	-3.95	-3.11
Chuncheon	-9.11	-7.95	-6.53	Tongyeong	0.08	0.65	1.39	Jangsu	-7.70	-6.60	-5.20
Gangneung	-2.70	-2.01	-1.15	Mokpo	-1.08	-0.47	0.31	Suncheon	-3.12	-2.55	-1.82
Seoul	-6.39	-5.66	-4.67	Yeosu	-0.59	0.05	0.85	Jangheung	-2.18	-1.61	-0.88
Incheon	-5.92	-5.24	-4.32	Wando	-0.08	0.62	1.48	Haenam	-1.63	-0.93	-0.09
Wonju	-10.26	-8.73	-6.97	Jinju	-2.40	-1.89	-1.23	Goheung	-1.23	-0.71	-0.03
Suwon	-8.00	-6.69	-5.17	Ganghwa	-7.99	-7.00	-5.78	Chunyang	-6.90	-6.40	-5.70
Chungju	-9.17	-7.80	-6.18	Yangpyeong	-11.05	-9.27	-7.25	Yeongju	-7.08	-6.15	-5.00
Seosan	-5.50	-4.80	-3.80	Icheon	-8.83	-7.54	-5.97	Mungyeong	-4.86	-4.32	-3.59
Uljin	-1.96	-1.33	-0.52	Inje	-9.66	-8.70	-7.50	Yeongdeok	-2.31	-1.69	-0.90
Cheongju	-7.03	-5.97	-4.68	Hongcheon	-10.16	-9.05	-7.70	Uiseong	-7.08	-6.32	-5.37
Daejeon	-5.49	-4.78	-3.81	Taebaek	-9.50	-8.50	-7.50	Gumi	-4.80	-4.24	-3.47
Chupungnyeong	-5.00	-4.44	-3.67	Jecheon	-9.56	-8.53	-7.25	Yeongcheon	-3.93	-3.35	-2.60
Andong	-7.20	-6.10	-4.70	Boeun	-7.84	-6.86	-5.65	Geochang	-4.67	-4.12	-3.37
Pohang	-1.56	-0.95	-0.11	Cheonan	-7.26	-6.40	-5.20	Hapcheon	-3.58	-2.95	-2.14
Gunsan	-3.36	-2.67	-1.80	Boryeong	-4.46	-3.72	-2.77	Miryang	-3.23	-2.57	-1.71
Daegu	-2.79	-2.08	-1.21	Buyeo	-6.21	-5.36	-4.18	Sancheong	-2.50	-1.96	-1.26
Jeonju	-3.88	-3.13	-2.21	Geumsan	-6.26	-5.59	-4.67	Geoje	-0.82	-0.28	0.47
Ulsan	-1.16	-0.63	0.10	Buan	-4.39	-3.52	-2.47	Namhae	-0.84	-0.34	0.33

Table 6. January average air temperatures(°C) with return period of 5, 10, and 20-year estimated from warm winter years (1987~2000) at 63 weather stations.

Weather station	Return period (year)			Weather station	Return period (year)			Weather station	Return period (year)		
	20	10	5		20	10	5		20	10	5
Sokcho	-1.23	-0.95	-0.56	Masan	1.97	2.14	2.36	Imsil	-3.83	-3.55	-3.18
Cheorwon	-7.70	-7.26	-6.67	Gwangju	-0.15	0.07	0.38	Jeongeup	-1.23	-1.01	-0.71
Daegwallyeong	-8.50	-8.27	-7.93	Busan	2.47	2.69	2.99	Namwon	-2.75	-2.42	-1.99
Chuncheon	-5.70	-5.39	-4.97	Tongyeong	2.00	2.21	2.50	Jangsu	-4.54	-4.20	-3.74
Gangneung	-0.19	0.00	0.27	Mokpo	1.49	1.63	1.82	Suncheon	-1.32	-1.02	-0.63
Seoul	-3.40	-3.10	-2.77	Yeosu	1.54	1.81	2.15	Jangheung	-0.56	-0.28	0.08
Incheon	-3.27	-2.99	-2.62	Wando	1.77	2.11	2.54	Haenam	0.78	0.88	1.04
Wonju	-5.19	-4.93	-4.58	Jinju	-0.73	-0.50	-0.19	Goheung	0.38	0.49	0.78
Suwon	-3.30	-3.10	-2.80	Ganghwa	-4.51	-4.25	-3.91	Chunyang	-5.30	-5.00	-4.60
Chungju	-4.73	-4.45	-4.07	Yangpyeong	-5.62	-5.30	-4.86	Yeongju	-4.27	-3.91	-3.43
Seosan	-2.47	-2.24	-1.95	Icheon	-4.36	-4.10	-3.74	Mungyeong	-3.06	-2.80	-2.43
Uljin	0.19	0.38	0.65	Inje	-7.50	-6.90	-6.11	Yeongdeok	-0.15	-0.02	0.25
Cheongju	-3.12	-2.90	-2.61	Hongcheon	-6.77	-6.45	-6.01	Uiseong	-4.69	-4.46	-4.14
Daejeon	-2.36	-2.11	-1.77	Taebaek	-6.20	-6.00	-5.70	Gumi	-2.53	-2.27	-1.90
Chupungnyeong	-2.92	-2.70	-2.38	Jecheon	-6.10	-5.82	-5.48	Yeongcheon	-1.98	-1.77	-1.48
Andong	-3.09	-2.88	-2.59	Boeun	-4.30	-4.14	-3.92	Geochang	-2.26	-2.12	-1.92
Pohang	1.06	1.29	1.61	Cheonan	-3.35	-3.14	-2.86	Hapcheon	-1.37	-1.14	-0.83
Gunsan	-1.02	-0.79	-0.48	Boryeong	-1.48	-1.33	-1.13	Miryang	-0.60	-0.43	-0.20
Daegu	-0.26	-0.04	0.24	Buyeo	-2.42	-2.26	-2.05	Sancheong	-0.80	-0.54	-0.18
Jeonju	-1.44	-1.20	-0.87	Geumsan	-3.60	-3.36	-3.05	Geoje	1.69	1.82	2.01
Ulsan	1.08	1.28	1.53	Buan	-1.17	-1.01	-0.79	Namhae	1.12	1.43	1.82

Table 7. Regression equations to estimate return periods (year) of January average air temperatures from 30 years (1971~2000) records at 63 weather stations.

Weather station	Regression equation	R ²	Weather station	Regression equation	R ²
Sokcho	$y = -0.2023 + 0.4870e^{-0.3816x}$	0.95	Inje	$y = -0.1972 + 0.1514e^{-0.2373x}$	0.96
Daegwallyeong	$y = -0.3112 + 0.0820e^{-0.2718x}$	0.95	Hongcheon	$y = -0.4890 + 0.3348e^{-0.1647x}$	0.98
Chuncheon	$y = -0.5567 + 0.4668e^{-0.1515x}$	0.96	Jecheon	$y = -0.3938 + 0.2717e^{-0.1916x}$	0.97
Gangneung	$y = -0.3323 + 0.7353e^{-0.2941x}$	0.94	Boeun	$y = -0.4450 + 0.3851e^{-0.1925x}$	0.96
Seoul	$y = 0.1299e^{-0.3602x}$	0.94	Cheonan	$y = 0.1455e^{-0.3018x}$	0.92
Incheon	$y = 0.1321e^{-0.3864x}$	0.94	Boryeong	$y = -0.3237 + 0.4817e^{-0.2716x}$	0.96
Wonju	$y = -1.1440 + 1.0105e^{-0.0862x}$	0.97	Buyeo	$y = 0.1957e^{-0.3046x}$	0.89
Sewon	$y = -0.9158 + 0.9029e^{-0.1125x}$	0.98	Geumsan	$y = 0.1144e^{-0.3878x}$	0.92
Chungju	$y = -0.9521 + 0.8701e^{-0.1037x}$	0.97	Buan	$y = -0.5225 + 0.7305e^{-0.2082x}$	0.94
Seosan	$y = 0.1749e^{-0.3628x}$	0.91	Imsil	$y = -0.5020 + 0.4630e^{-0.1996x}$	0.96
Uljin	$y = -0.2034 + 0.7514e^{-0.3530x}$	0.95	Jeongeup	$y = -0.3559 + 0.5729e^{-0.2812x}$	0.97
Cheongju	$y = -0.5688 + 0.5889e^{-0.1641x}$	0.98	Namwon	$y = -0.2232 + 0.3219e^{-0.3383x}$	0.99
Daejeon	$y = 0.1733e^{-0.3665x}$	0.94	Suncheon	$y = -0.2292 + 0.4587e^{-0.3867x}$	0.98
Chupungnyeong	$y = 0.1275e^{-0.4639x}$	0.95	Jangheung	$y = -0.2742 + 0.6984e^{-0.3726x}$	0.98
Pohang	$y = 0.6668e^{-0.4263x}$	0.95	Haenam	$y = -0.5176 + 1.1895e^{-0.2603x}$	0.99
Gunsan	$y = -0.3063 + 0.5805e^{-0.3033x}$	0.97	Goheung	$y = -0.2499 + 0.9362e^{-0.4090x}$	0.98
Daegu	$y = -0.4256 + 0.8125e^{-0.2694x}$	0.99	Yeongju	$y = -0.3986 + 0.3822e^{-0.2108x}$	0.95
Jeonju	$y = -0.3188 + 0.5509e^{-0.2782x}$	0.95	Mungyeong	$y = 0.1186e^{-0.4925x}$	0.95
Ulsan	$y = 0.7353e^{-0.4899x}$	0.97	Yeongdeok	$y = -0.2407 + 0.6867e^{-0.3485x}$	0.95
Gwangju	$y = -0.1699 + 0.5871e^{-0.4008x}$	0.99	Uiseong	$y = -0.2232 + 0.1926e^{-0.2919x}$	0.98
Busan	$y = -0.3890 + 1.6532e^{-0.2723x}$	0.99	Gumi	$y = 0.1387e^{-0.4657x}$	0.97
Tongyeong	$y = -0.2558 + 1.6051e^{-0.3726x}$	0.98	Yeongcheon	$y = -0.2289 + 0.3478e^{-0.3762x}$	0.97
Mokpo	$y = 0.8086e^{-0.4457x}$	0.93	Geochang	$y = 0.1423e^{-0.4733x}$	0.96
Yeosu	$y = -0.3371 + 1.3595e^{-0.3148x}$	0.99	Hapcheon	$y = -0.2637 + 0.4670e^{-0.3378x}$	0.97
Wando	$y = -0.6748 + 1.9400e^{-0.2327x}$	0.98	Miryang	$y = -0.2443 + 0.5389e^{-0.3253x}$	0.96
Jinju	$y = -0.1384 + 0.4742e^{-0.4628x}$	0.96	Sancheong	$y = -0.2652 + 0.5935e^{-0.3859x}$	0.98
Ganghwa	$y = -0.4450 + 0.3770e^{-0.1918x}$	0.95	Geoje	$y = 0.8751e^{-0.4811x}$	0.94
Yangpyeong	$y = -1.6805 + 1.5512e^{-0.0590x}$	0.98	Namhae	$y = 0.8370e^{-0.5255x}$	0.96
Icheon	$y = -0.8771 + 0.8010e^{-0.1131x}$	0.98			

안전재배지대는 보령-남원-거창-구미-고성 지역을 잇는 선으로 구분되었고, 쌀보리는 서천-전주-정읍-합천-영덕-속초 지역을 잇는 선으로 구분되었으며, 맥주보리는 부산, 통영, 여수, 완도 지역 등 남부해안지역에서만 안전하고, 그 밖의 지역들은 10년에 한번이상 저온이 출현할 위험이 있는 것으로 판단되었다. 반면에, 최근 14년의 1월 평균기온(재현기간 10년)에 의한 겉보리의 안전재배지대는 강화-이천-영주-고성 지역을 잇는 선으로 구분되었고, 쌀보리는 서산-청주-남원-문경-속초 지역을 잇는 선으로 구분되었으며, 맥주보리는 광주-장흥-사천-울산-울진 지역을 잇는 선으로 구분되어 안전재배지대가 평년보다 복잡하였다(Fig. 7).

Fig. 8은 평년(1971~2000년)과 최근 14년(1987~2000)의 재현기간 10년에 해당하는 1월 최저기온에 의하여

맥종별로 안전재배지대를 구분한 것이다. 전반적으로 1월 평균기온과 비슷하게 안전재배지대가 구분되었지만, 맥종별로는 차이가 있었다. 즉, 1월 평균기온보다 겉보리는 북쪽으로 쌀보리와 맥주보리는 남쪽으로 이동하여 안전재배지대가 구분되었다. 최근 14년의 1월 최저기온(재현기간 10년)에 의한 겉보리의 안전재배지대는 충주-임실-보은-금산-고성 지역을 잇는 선으로 구분되었고, 쌀보리는 수원-천안-청주-남원-문경-속초 지역을 잇는 선으로 구분되었으며, 맥주보리는 무안-함평-고흥-광양-사천-포항 지역을 잇는 선으로 구분되었다. 반면에 평년의 1월 최저기온(재현기간 10년)을 기준으로 하면, 겉보리는 당진-대전-남원-거창-구미-고성 지역을 잇는 선으로, 쌀보리는 군산-정읍-순천-전주-밀양-영덕 지역을 잇는 선으로 구분되어 안전재배지대는 최근

Table 8. Regression equations to estimate return periods (year) of January average air temperatures from warm winter years (1987~2000) records at 63 weather stations.

Weather station	Regression equation	R ²	Weather station	Regression equation	R ²
Sokcho	$y = -0.1091 + 0.5093e^{-0.8221x}$	0.95	Inje	$y = 0.0454e^{-0.4474x}$	0.90
Cheorwon	$y = 0.0126e^{-0.6019x}$	0.98	Hongcheon	$y = 0.0053e^{-0.8107x}$	0.97
Daegwallyeong	$y = 0.0001e^{-1.0886x}$	0.99	Taeback	$y = 0.0012e^{-1.1175x}$	0.92
Chuncheon	$y = 0.0112e^{-0.8325x}$	0.97	Jecheon	$y = 0.0022e^{-1.0533x}$	0.94
Gangneung	$y = -0.0098 + 1.0105e^{-1.3140x}$	0.97	Boeun	$y = 0.0010e^{-1.6736x}$	0.93
Seoul	$y = 0.0330e^{-1.1003x}$	0.93	Cheonan	$y = 0.0196e^{-1.2502x}$	0.95
Incheon	$y = 0.0542e^{-0.9737x}$	0.99	Boryeong	$y = 0.0951e^{-1.7621x}$	0.93
Wonju	$y = 0.0063e^{-1.0274x}$	0.97	Buyeo	$y = 0.0235e^{-1.6552x}$	0.99
Suwon	$y = 0.0097e^{-1.4970x}$	0.94	Geumsan	$y = 0.0236e^{-1.1121x}$	0.97
Chungju	$y = 0.0160e^{-0.9277x}$	0.97	Buan	$y = 0.1877e^{-1.6451x}$	0.96
Seosan	$y = -0.0990 + 0.0973e^{-1.0796x}$	0.95	Imsil	$y = 0.0354e^{-0.9405x}$	0.90
Uljin	$y = 0.0223 + 1.6568e^{-1.3519x}$	0.99	Jeongeup	$y = -0.0567 + 0.3356e^{-1.1341x}$	0.98
Cheongju	$y = 0.0296e^{-1.2107x}$	0.98	Namwon	$y = -0.0723 + 0.1705e^{-0.7581x}$	0.96
Daejeon	$y = -0.0953 + 0.1432e^{-0.9648x}$	0.95	Jangsu	$y = -0.1044 + 0.0585e^{-0.6993x}$	0.97
Chupungnyeong	$y = 0.0424e^{-1.1751x}$	0.91	Suncheon	$y = -0.2086 + 0.5661e^{-0.7378x}$	0.95
Andong	$y = 0.0286e^{-1.2317x}$	0.95	Jangheung	$y = -0.0825 + 0.8423e^{-0.8772x}$	0.95
Pohang	$y = -0.0796 + 4.2026e^{-1.0456x}$	0.97	Haenam	$y = 0.1194 + 9.9213e^{-2.7390x}$	0.97
Gunsan	$y = -0.0738 + 0.4578e^{-1.0731x}$	0.95	Goheung	$y = 1.8426e^{-1.2270x}$	0.81
Daegu	$y = -0.0735 + 1.0172e^{-1.1386x}$	0.98	Chunyang	$y = 0.0089e^{-0.9407x}$	0.91
Jeonju	$y = -0.0282 + 0.2845e^{-1.0672x}$	0.99	Yeongju	$y = 0.0564e^{-0.7345x}$	0.94
Ulsan	$y = -0.0052 + 5.7123e^{-1.3599x}$	0.97	Mungyeong	$y = 0.0647e^{-0.9784x}$	0.95
Masan	$y = -0.0225 + 28.1554e^{-1.5492x}$	0.99	Yeongdeok	$y = 1.0300e^{-1.4784x}$	0.90
Gwangju	$y = -0.0746 + 1.1690e^{-1.0657x}$	0.97	Uiseong	$y = 0.0064e^{-1.1329x}$	0.95
Busan	$y = -0.0579 + 22.3396e^{-1.1302x}$	0.96	Gumi	$y = 0.1091e^{-0.9771x}$	0.97
Tongyeong	$y = -0.0492 + 14.3789e^{-1.1818x}$	0.98	Yeongcheon	$y = 0.1140e^{-1.2244x}$	0.91
Mokpo	$y = 21.9054e^{-1.8900x}$	0.98	Geochang	$y = 0.0220e^{-1.7995x}$	0.95
Yeosu	$y = -0.1758 + 5.4884e^{-0.8502x}$	0.97	Hapcheon	$y = -0.0408 + 0.2921e^{-1.1090x}$	0.99
Wando	$y = -0.2202 + 4.8378e^{-0.6518x}$	0.96	Miryang	$y = 0.5125e^{-1.5445x}$	0.97
Jinju	$y = 0.5620e^{-1.1410x}$	0.95	Sancheong	$y = 0.5799e^{-0.9987x}$	0.93
Ganghwa	$y = 0.0117e^{-1.0456x}$	0.97	Geoje	$y = 32.5408e^{-1.9033x}$	0.93
Yangpyeong	$y = 0.0134e^{-0.8131x}$	0.96	Namhae	$y = -0.4201 + 3.4648e^{-0.6194x}$	0.86
Icheon	$y = 0.0054 + 0.0173e^{-0.9875x}$	0.94			

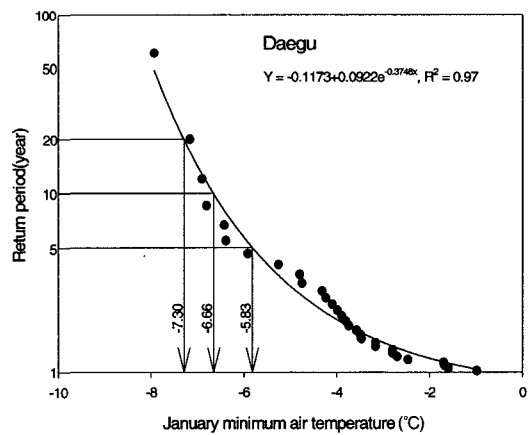
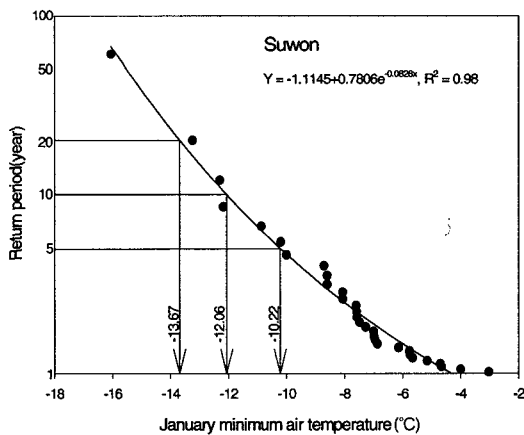


Fig. 6. Regression equations to estimate return periods (year) of January minimum air temperatures from 30 years (1971~2000) records at Suwon and Daegu weather stations.

Table 9. January minimum air temperatures with return period of 5, 10, and 20-year estimated from 30 years (1971~2000) records at 63 weather stations.

Weather station	Return period (year)			Weather station	Return period (year)			Weather station	Return period (year)		
	20	10	5		20	10	5		20	10	5
Sokcho	-6.63	-6.08	-5.33	Masan	-3.60	-3.50	-2.90	Imsil	-13.80	-12.43	-10.80
Cheorwon	-16.60	-15.50	-13.40	Gwangju	-5.98	-5.47	-4.81	Jeongeup	-8.67	-8.00	-7.11
Daegwallyeong	-16.55	-15.80	-14.76	Busan	-3.96	-3.27	-2.39	Namwon	-10.24	-9.60	-8.73
Chuncheon	-15.29	-13.91	-12.21	Tongyeong	-3.76	-3.25	-2.56	Jangsu	-16.10	-14.10	-12.00
Gangneung	-6.27	-5.67	-4.90	Mokpo	-3.94	-3.39	-2.69	Suncheon	-8.27	-7.71	-6.95
Seoul	-10.03	-9.21	-8.13	Yeosu	-3.94	-3.34	-2.54	Jangheung	-6.83	-6.35	-5.70
Incheon	-9.23	-8.46	-7.46	Wando	-3.77	-2.98	-2.00	Haenam	-5.56	-5.08	-4.44
Wonju	-17.37	-15.25	-12.87	Jinju	-9.00	-8.14	-7.11	Goheung	-6.35	-5.86	-5.22
Suwon	-13.67	-12.06	-10.22	Ganghwa	-13.75	-12.54	-11.06	Chunyang	-15.40	-14.40	-12.30
Chungju	-16.33	-14.38	-12.14	Yangpyeong	-19.07	-16.48	-13.68	Yeongju	-13.79	-12.50	-10.95
Seosan	-10.13	-9.31	-8.22	Icheon	-15.31	-13.58	-11.59	Mungyeong	-9.91	-9.28	-8.44
Ulsan	-6.42	-5.79	-4.97	Inje	-16.64	-15.44	-13.86	Yeongdeok	-6.90	-6.33	-5.58
Cheongju	-12.88	-11.40	-9.67	Hongcheon	-17.65	-16.17	-14.37	Uiseong	-14.44	-13.50	-12.29
Daejeon	-10.21	-9.44	-8.41	Taebaek	-15.20	-14.00	-12.60	Gumi	-10.72	-9.85	-8.76
Chupungnyeong	-9.13	-8.56	-7.81	Jecheon	-16.70	-15.31	-13.64	Yeongcheon	-9.87	-9.26	-8.43
Andong	-14.2	-12.6	-10.7	Boeun	-15.21	-13.75	-12.01	Geochang	-10.61	-9.95	-9.10
Pohang	-5.73	-5.11	-4.24	Cheonan	-12.77	-11.52	-9.99	Hapcheon	-9.57	-8.93	-8.06
Gunsan	-6.23	-6.09	-5.28	Boryeong	-9.10	-8.33	-7.34	Miryang	-9.63	-8.85	-7.86
Daegu	-7.30	-6.66	-5.83	Buyeo	-12.60	-11.00	-9.20	Sancheong	-7.61	-7.08	-6.36
Jeonju	-8.00	-7.36	-6.52	Geumsan	-11.96	-11.14	-10.10	Geoje	-5.15	-4.55	-3.79
Ulsan	-5.67	-5.10	-4.35	Buan	-10.23	-8.93	-7.39	Namhae	-5.81	-5.15	-4.30

Table 10. January minimum air temperatures with return period of 5, 10, and 20-year estimated from warm winter years (1987~2000) records at 63 weather stations.

Weather station	Return period (year)			Weather station	Return period (year)			Weather station	Return period (year)		
	20	10	5		20	10	5		20	10	5
Sokcho	-4.94	-4.70	-4.39	Masan	-2.20	-2.10	-1.80	Imsil	-10.10	-9.56	-8.86
Cheorwon	-14.16	-13.56	-12.74	Gwangju	-4.10	-3.81	-3.45	Jeongeup	-5.72	-5.48	-5.15
Daegwallyeong	-13.30	-13.10	-12.70	Busan	-1.44	-1.22	-0.91	Namwon	-8.67	-8.20	-7.58
Chuncheon	-11.31	-10.97	-10.45	Tongyeong	-2.31	-1.99	-1.56	Jangsu	-11.09	-10.55	-9.83
Gangneung	-3.98	-3.78	-3.54	Mokpo	-2.30	-2.07	-1.77	Suncheon	-6.86	-6.36	-5.73
Seoul	-7.10	-6.82	-6.44	Yeosu	-1.92	-1.66	-1.32	Jangheung	-6.24	-5.77	-5.14
Incheon	-6.82	-6.50	-6.06	Wando	-1.53	-1.12	-0.56	Haenam	-4.94	-4.41	-3.73
Wonju	-10.66	-10.31	-9.85	Jinju	-6.97	-6.47	-5.83	Goheung	-5.22	-4.92	-4.54
Suwon	-7.95	-7.72	-7.40	Ganghwa	-9.69	-9.31	-8.81	Chunyang	-12.93	-12.42	-11.74
Chungju	-10.54	-10.06	-9.38	Yangpyeong	-11.80	-11.32	-10.68	Yeongju	-9.73	-9.30	-8.69
Seosan	-6.90	-6.60	-6.20	Icheon	-9.71	-9.39	-9.02	Mungyeong	-7.70	-7.50	-7.20
Ulsan	-4.11	-3.92	-3.64	Inje	-14.34	-13.24	-11.93	Yeongdeok	-4.75	-4.54	-4.26
Cheongju	-7.89	-7.62	-7.27	Hongcheon	-13.33	-12.89	-12.29	Uiseong	-11.99	-11.52	-10.91
Daejeon	-7.32	-6.99	-6.53	Taebaek	-11.6	-11.3	-10.9	Gumi	-7.52	-7.31	-7.02
Chupungnyeong	-7.10	-6.88	-6.59	Jecheon	-12.72	-12.27	-11.68	Yeongcheon	-7.46	-7.21	-6.87
Andong	-8.64	-8.29	-7.82	Boeun	-10.33	-10.02	-9.64	Geochang	-8.50	-8.20	-7.90
Pohang	-2.83	-2.60	-2.32	Cheonan	-8.67	-8.34	-7.90	Hapcheon	-6.95	-6.75	-6.49
Gunsan	-4.46	-4.17	-3.78	Boryeong	-6.40	-6.20	-5.80	Miryang	-6.73	-6.49	-6.19
Daegu	-4.35	-4.16	-3.93	Buyeo	-7.90	-7.70	-7.40	Sancheong	-5.83	-5.53	-5.13
Jeonju	-6.03	-5.67	-5.18	Geumsan	-10.11	-9.58	-8.91	Geoje	-2.80	-2.60	-2.40
Ulsan	-3.42	-3.19	-2.88	Buan	-6.10	-5.78	-5.36	Namhae	-3.51	-3.18	-2.75

Table 11. Regression equations to estimate return periods (year) of January minimum air temperatures from 30 years (1971~2000) records at 63 weather stations.

Weather station	Regression equation	R ²	Weather station	Regression equation	R ²
Sokcho	$y = -0.1160 + 0.0829e^{-0.4276x}$	0.92	Inje	$y = -0.2154 + 0.0736e^{-0.1817x}$	0.94
Daegwallyeong	$y = 0.0043e^{-0.3453x}$	0.96	Hongcheon	$y = -0.5176 + 0.2140e^{-0.1211x}$	0.98
Chuncheon	$y = -0.5259 + 0.2499e^{-0.1300x}$	0.97	Jecheon	$y = -0.4483 + 0.1722e^{-0.1389x}$	0.98
Gangneung	$y = -0.1391 + 0.1236e^{-0.3905x}$	0.92	Boeun	$y = -0.7124 + 0.3737e^{-0.1105x}$	0.98
Seoul	$y = -0.1733 + 0.0915e^{-0.2769x}$	0.96	Cheonan	$y = -0.5868 + 0.3208e^{-0.1388x}$	0.96
Incheon	$y = -0.2253 + 0.1094e^{-0.2855x}$	0.95	Boryeong	$y = -0.2308 + 0.1158e^{-0.2834x}$	0.99
Wonju	$y = -1.6859 + 1.2553e^{-0.0499x}$	0.96	Buyeo	$y = 0.0414e^{-0.3051x}$	0.92
Suwon	$y = -1.1145 + 0.7806e^{-0.0826x}$	0.98	Geumsan	$y = -0.2268 + 0.0629e^{-0.2664x}$	0.97
Chungju	$y = -1.1102 + 0.7846e^{-0.0687x}$	0.98	Buan	$y = -0.9252 + 0.7191e^{-0.1102x}$	0.96
Seosan	$y = 0.0485e^{-0.3247x}$	0.94	Imsil	$y = -0.7144 + 0.3906e^{-0.1189x}$	0.96
Ulsan	$y = -0.1314 + 0.1307e^{-0.3724x}$	0.94	Jeongeup	$y = 0.0429e^{-0.3930x}$	0.96
Cheongju	$y = -1.0078 + 0.6915e^{-0.0935x}$	0.97	Namwon	$y = 0.0195e^{-0.4097x}$	0.97
Daejeon	$y = 0.0397e^{-0.3412x}$	0.96	Suncheon	$y = 0.0268e^{-0.4687x}$	0.95
Chupungnyeong	$y = 0.0176e^{-0.4717x}$	0.95	Jangheung	$y = -0.0955 + 0.0470e^{-0.4961x}$	0.95
Pohang	$y = 0.1193e^{-0.4158x}$	0.98	Haenam	$y = -0.0675 + 0.0766e^{-0.5184x}$	0.99
Gunsan	$y = -0.1116 + 0.1061e^{-0.3848x}$	0.96	Goheung	$y = -0.1216 + 0.0681e^{-0.4774x}$	0.98
Daegu	$y = -0.1173 + 0.0922e^{-0.3746x}$	0.97	Yeongju	$y = -0.4925 + 0.2496e^{-0.1429x}$	0.95
Jeonju	$y = -0.1151 + 0.0716e^{-0.3725x}$	0.96	Mungyeong	$y = -0.1078 + 0.0344e^{-0.3742x}$	0.96
Ulsan	$y = -0.0999 + 0.1262e^{-0.4242x}$	0.96	Yeongdeok	$y = -0.0994 + 0.0749e^{-0.4243x}$	0.96
Gwangju	$y = -0.0830 + 0.0769e^{-0.4831x}$	0.97	Uiseong	$y = -0.1678 + 0.0421e^{-0.2459x}$	0.98
Busan	$y = -0.2095 + 0.4240e^{-0.3194x}$	0.97	Gumi	$y = -0.2241 + 0.0990e^{-0.2550x}$	0.90
Tongyeong	$y = -0.1041 + 0.2420e^{-0.4663x}$	0.96	Yeongcheon	$y = 0.0185e^{-0.4309x}$	0.92
Mokpo	$y = -0.2574 + 0.3368e^{-0.3877x}$	0.98	Geochang	$y = -0.1565 + 0.0362e^{-0.3476x}$	0.94
Yeosu	$y = -0.1913 + 0.3484e^{-0.3684x}$	0.98	Hapcheon	$y = 0.0253e^{-0.4115x}$	0.95
Wando	$y = -0.4380 + 0.7043e^{-0.2391x}$	0.98	Miryang	$y = -0.2139 + 0.0984e^{-0.2838x}$	0.95
Jinju	$y = -0.3375 + 0.1879e^{-0.2406x}$	0.97	Sancheong	$y = 0.0302e^{-0.4940x}$	0.95
Ganghwa	$y = -0.4723 + 0.2115e^{-0.1547x}$	0.94	Geoje	$y = -0.2240 + 0.2306e^{-0.3664x}$	0.95
Yangpyeong	$y = -2.5569 + 2.1263e^{-0.0312x}$	0.98	Namhae	$y = -0.1935 + 0.2080e^{-0.3386x}$	0.96
Icheon	$y = -1.1638 + 0.7796e^{-0.0752x}$	0.98			

14년보다 오히려 남쪽으로 이동하였다. 그리고 맥주보리는 마산, 목포, 여수, 통영 등 남해안 일부지역만 안전재배가 가능한 것으로 구분되었다.

3.2.2 품종별 안전재배지대 구분

평년(1971~2000년)의 재현기간 10년에 해당하는 1월 평균기온을 기준으로 품종별 안전재배지대를 구분하면, 내한성이 가장 강한 울보리 등 [I] 그룹에 해당하는 품종들은 서산-부여-대전-문경-구미-속초 지역을 잇는 선으로 구분되었다. 반면에 최근 14년(1987~2000년)에는 안전재배지대가 훨씬 북상하여 강화-원주-충주-춘양-고성 지역을 잇는 선으로 구분되었다(Fig. 9).

또한, 재현기간 10년에 해당하는 1월 최저기온을 기

준으로 품종별 안전재배지대를 구분하면, 내한성이 강한 [I] 과 [III] 그룹의 품종들은 1월 평균기온(재현기간 10년)보다 더 북쪽으로 이동하여 안전재배지대가 구분되었고, 내한성이 약한 [IV] 와 [V] 그룹의 품종들은 더 남쪽으로 이동하였다(Fig. 10). 즉, '춥지 않은 겨울' 날씨를 보인 최근 14년(1987~2000년)의 1월 최저기온(재현기간 10년)으로 품종별 안전재배지대를 구분하였을 때, [I] 그룹의 내한성이 강한 품종들은 춘천-양평-태백-춘양-고성 지역을 잇는 선까지 안전재배가 가능한 것으로 밝혀졌다.

IV. 고 찰

가을보리를 비롯한 월동작물은 월동기간의 혹한을

Table 12. Regression equations to estimate return periods (year) of January minimum air temperatures from warm winter years (1987~2000) records at 63 weather stations.

Weather station	Regression equation	R ²	Weather station	Regression equation	R ²
Sokcho	$y = 0.0045e^{-1.1485x}$	0.95	Inje	$y = -0.7188 + 0.2492e^{-0.1457x}$	0.94
Cheolwon	$y = 0.0026e^{-0.4375x}$	0.96	Hongcheon	$y = 0.0004e^{-0.5977x}$	0.99
Daegwallyeong	$y = 3E-06e^{-0.9852x}$	0.96	Taebaek	$y = 4E-05e^{-0.8909x}$	0.93
Chuncheon	$y = 0.0005e^{-0.6897x}$	0.92	Jecheon	$y = -0.0483 + 0.0010e^{-0.5705x}$	0.95
Gangneung	$y = 0.0036e^{-1.4855x}$	0.92	Boeun	$y = 0.0001e^{-0.9181x}$	0.95
Seoul	$y = 0.0051e^{-0.9576x}$	0.96	Cheonan	$y = 0.0013e^{-0.7976x}$	0.88
Incheon	$y = 0.0047e^{-0.8256x}$	0.97	Boryeong	$y = 0.0029e^{-0.9451x}$	0.96
Wonju	$y = 0.0004e^{-0.7644x}$	0.98	Buyeo	$y = 0.0006e^{-0.9581x}$	0.95
Suwon	$y = 0.0002e^{-1.1351x}$	0.98	Geumsan	$y = -0.2133 + 0.0212e^{-0.4222x}$	0.93
Chungju	$y = -0.1115 + 0.0112e^{-0.4574x}$	0.91	Buan	$y = -0.1101 + 0.0149e^{-0.7454x}$	0.94
Seosan	$y = -0.1798 + 0.0087e^{-0.7437x}$	0.83	Imsil	$y = -0.1925 + 0.0235e^{-0.4108x}$	0.84
Ulsan	$y = 0.0071e^{-1.2599x}$	0.90	Jeongeup	$y = 0.0024e^{-1.0998x}$	0.93
Cheongju	$y = 0.0006e^{-0.9787x}$	0.96	Namwon	$y = -0.1333 + 0.0202e^{-0.4913x}$	0.96
Daejeon	$y = 0.0046e^{-0.7692x}$	0.93	Jangsu	$y = 0.0058e^{-0.4878x}$	0.93
Chupungnyeong	$y = 0.0002e^{-1.2239x}$	0.92	Suncheon	$y = -0.4480 + 0.1364e^{-0.3711x}$	0.90
Andong	$y = -0.0713 + 0.0031e^{-0.7056x}$	0.97	Jangheung	$y = 0.0394e^{-0.5603x}$	0.92
Pohang	$y = 0.0381e^{-1.2502x}$	0.94	Haenam	$y = -0.3427 + 0.2559e^{-0.3756x}$	0.96
Gunsan	$y = -0.1454 + 0.0447e^{-0.7779x}$	0.92	Goheung	$y = 0.0099e^{-0.9378x}$	0.94
Daegu	$y = 0.0366 + 0.0012e^{-1.6134x}$	0.95	Chunyang	$y = 0.0016e^{-0.5188x}$	0.98
Jeonju	$y = 0.0155e^{-0.7347x}$	0.93	Yeongju	$y = -0.0757 + 0.0072e^{-0.5388x}$	0.94
Ulsan	$y = 0.0235e^{-1.1760x}$	0.96	Mungyeong	$y = 0.0006e^{-0.9769x}$	0.95
Masan	$y = 0.0686e^{-1.9062x}$	0.95	Yeongdeok	$y = 0.0030e^{-1.2788x}$	0.97
Gwangju	$y = -0.1326 + 0.0467e^{-0.8342x}$	0.94	Uiseong	$y = -0.0554 + 0.0020e^{-0.5420x}$	0.99
Busan	$y = 0.2413e^{-1.1663x}$	0.90	Gumi	$y = 0.0001e^{-1.2345x}$	0.95
Tongyeong	$y = -0.1467 + 0.2796e^{-0.7077x}$	0.97	Yeongcheon	$y = 0.0005e^{-1.0444x}$	0.93
Mokpo	$y = 0.0903e^{-1.1562x}$	0.97	Geochang	$y = 0.0002e^{-1.0684x}$	0.98
Yeosu	$y = -0.0428 + 0.2005e^{-0.9906x}$	0.98	Hapcheon	$y = 0.0001e^{-1.3272x}$	0.92
Wando	$y = 0.4898e^{-0.6337x}$	0.92	Miryang	$y = 0.0005e^{-1.1661x}$	0.94
Jinju	$y = -0.4120 + 0.1232e^{-0.3769x}$	0.85	Sancheong	$y = 0.0071e^{-0.8927x}$	0.93
Ganghwa	$y = -0.1165 + 0.0031e^{-0.6319x}$	0.94	Geoje	$y = 0.0191e^{-1.4986x}$	0.96
Yangpyeong	$y = 0.0019e^{-0.5553x}$	0.99	Namhae	$y = 0.0739e^{-0.8161x}$	0.88
Icheon	$y = 0.0002e^{-0.9251x}$	0.95			

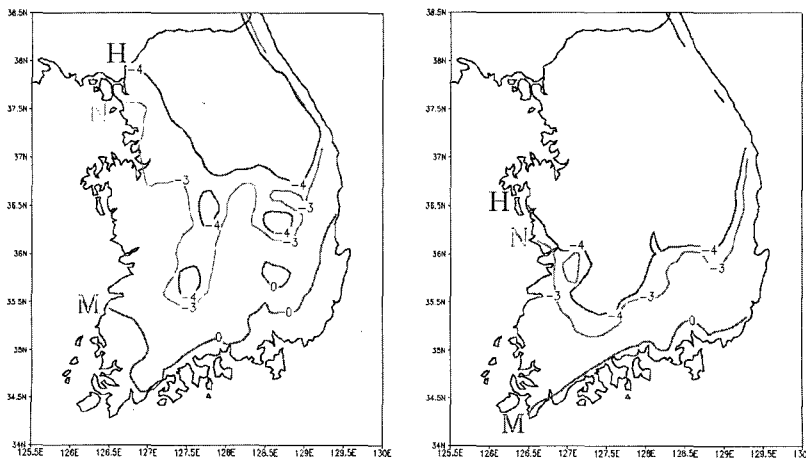


Fig. 7. Safe cultivation zones for hulled (H), naked (N), and malting (M) barley divided by January average air temperatures of 10-year return period estimated from records of warm winter years (1987~2000) (left fig.) and 30 years (1971~2000) (right fig.) in Korea.

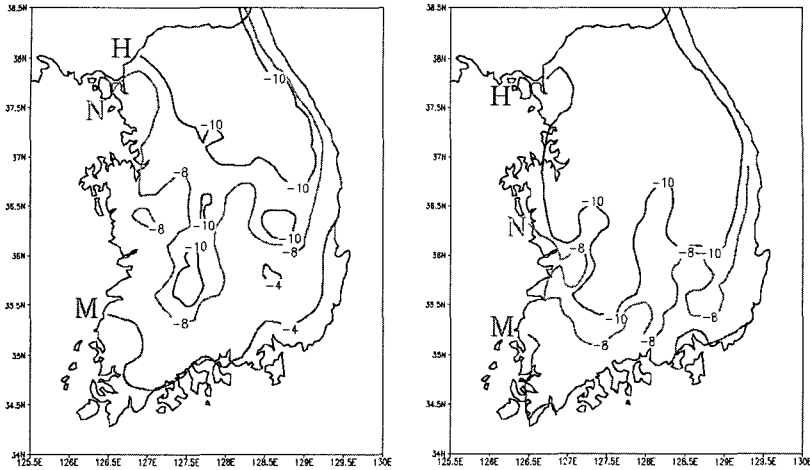


Fig. 8. Safe cultivation zones for hulled (H), naked (N), and malting (M) barley divided by January minimum air temperatures of 10-year return period from records of warm winter years (1987~2000) (left fig.) and 30 years (1971~2000) (right fig.) in Korea.

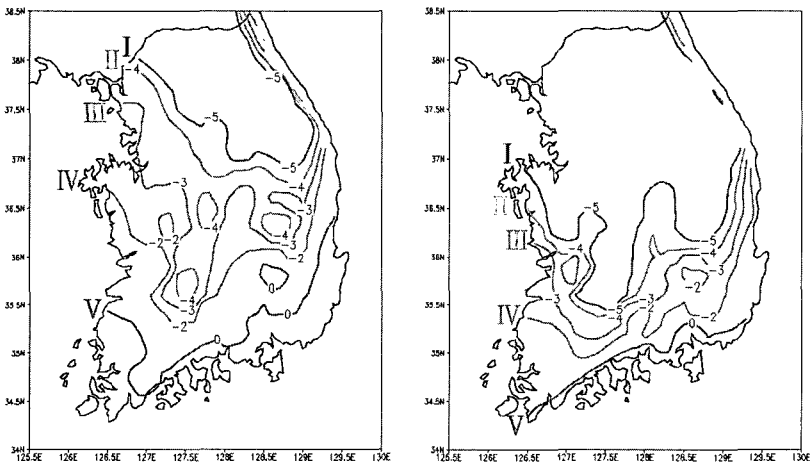


Fig. 9. Safe cultivation zones for five barley cultivar groups on winter hardiness divided by January average air temperatures of 10-year return period from records of warm winter years (1987~2000) (left fig.) and 30 years (1971~2000) (right fig.) in Korea.

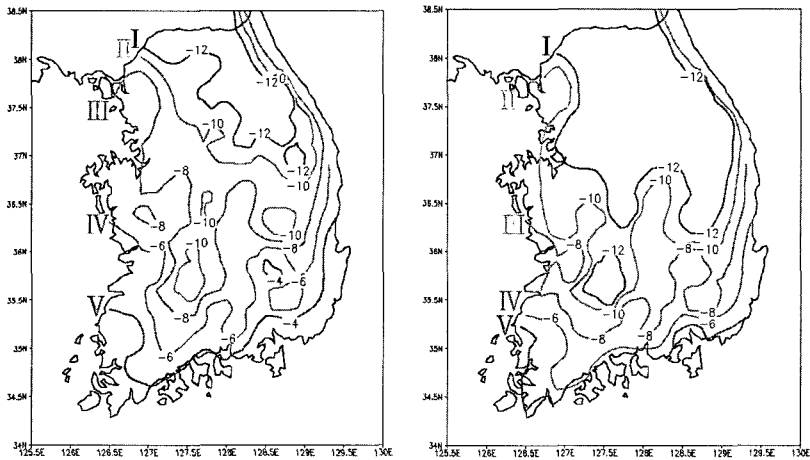


Fig. 10. Safe cultivation zones for five barley cultivar groups on winter hardiness divided by January minimum air temperatures of 10-year return period from records of warm winter years (1987~2000) (left fig.) and 30 years (1971~2000) (right fig.) in Korea.

피하여 재배적지를 선정해왔다. 최한월인 1월의 평균 기온 및 최저기온에 의한 가을보리의 맥종별 혹은 품종별 안전재배지대는 최근 14년(1987~2000년)의 산술 평균값과 재현기간 10년에 해당하는 기상값 분석에서 모두 평년(1971~2000년)보다 북상하여 구분되었다. 이는 최근의 지구온난화와 관련이 있다고 보는데, 특히 월동기간의 기온상승이 가장 크게 기여하였다. 실제로 보리의 답리작이 한창 성하던 1970년대 중반까지는 대전 이남에서만 안전재배가 이루어졌고, 맥주보리는 남해안 일부에서만 재배했다. 그러나 1990년대 후반부터는 북상하여 서천지역에서도 쌀보리의 답리작이 성공적으로 재배되고 있으며, 현재에는 강원도 고성지역에서도 겉보리를 답리작으로 시험재배하고 있고 그 결과는 성공적이었다. 이러한 현상은 재배기술의 발전과 품종의 내한성 증대와 더불어, 최근의 지구온난화에 따른 우리나라 겨울 날씨가 따뜻하게 경과되었던 현상과 맞물려 나타난 것으로 볼 수 있다. 또한 현재 보리재배의 명맥을 잇고 있는 지역의 분포를 보면 동해안의 삼척, 울진, 영덕지역에서 남해안, 남서해안을 거쳐 서해안의 군산과 보령지역까지 해안에 분포하고 있고, 내륙에서는 거의 재배하지 않는다. 그 이유는 해안은 겨울에 내륙보다 덜 춥고 보리의 등숙기간에 온도가 내륙보다 낮아 낱알이 무겁게 여물기 때문이다. 가을보리의 안전재배지대를 결정하는 요인은 월동기간(혹한기)의 기온이므로 높아진 기온만큼 재배한계선의 북상을 조심스럽게 고려할 수 있으며, 특히 해안을 따라 북쪽으로 가을보리의 재배확대가 전망된다.

V. 적 요

근래 지구온난화현상과 더불어 우리나라에 ‘춥지 않은 겨울’ 날씨가 지속됨에 따라 가을보리 안전재배지역의 북상이 논의되고 있다. 본 연구는 ‘춥지 않은 겨울’ 날씨를 보인 1987년부터 2000년까지 14년과 평년(1971~2000년)의 평균기온과 최저기온을 바탕으로 새로운 가을보리의 안전재배지대 설정을 시도하였던바 그 결과는 다음과 같다.

1. 평년(1971~2000년)의 1월 평균기온의 산술평균값에 의한 겉보리의 안전재배지대는 강화-이천-충주-춘양-고성 지역을, 쌀보리는 천안-군산-문경-안동-속초 지역을, 맥주보리는 광주-장흥-산청-포항-울진 지역을 잇는 선으로 구분되었다. 반면에, ‘춥지 않은 겨울’ 날씨를

보인 14년(1987~2000년) 동안의 기상조건을 기준으로 하였을 때는 가을보리 안전재배지대가 평년기준보다 북상하여, 겉보리는 포천-춘천-원주-양평-춘양 지역을, 쌀보리는 강화-이천-충주-의성-고성 지역을, 맥주보리는 군산-순천-진주-밀양-울진 지역을 잇는 선으로 구분되었고, 내한성이 가장 강한 품종들(올보리 등)은 인제, 흥천, 태백, 제천지역 등 태백산맥의 인근지역까지도 안전재배가 가능한 것으로 나타났다.

2. 평년(1971~2000년)의 재현기간 10년에 해당하는 1월 평균기온에 의한 겉보리의 안전재배지대는 보령-남원-거창-구미-고성 지역을 잇는 선으로 구분되었고, 쌀보리는 서천-정읍-합천-영덕-속초 지역을 잇는 선으로 구분되었으며, 맥주보리는 부산, 통영, 여수 등 남부해안지역에서만 안전하고, 그 밖의 지역들은 10년에 한번이상 저온이 출현할 위험이 있는 것으로 판단되었다. 반면에 ‘춥지 않은 겨울’ 날씨를 보인 14년(1987~2000년) 동안의 기상조건에서는 겉보리는 강화-이천-영주-고성 지역을, 쌀보리는 서산-남원-문경-안동-속초 지역을, 맥주보리는 광주-장흥-사천-울산-울진 지역을 잇는 선으로 구분되었고, 내한성이 가장 강한 품종들(올보리 등)은 강화-원주-충주-춘양-고성 지역을 잇는 선으로 구분되었다.

인용문헌

- 농업기술연구소, 1986: 한국의 농업기후 특성과 수도 기상재해 대책. 농촌진흥청, 194pp.
- 농업기술연구소, 1990: 주요과수재배지대의 기후특성. 농촌진흥청, 205pp.
- 농촌진흥청, 1989: 농업지대별 작목배치도. 농촌진흥청, 741pp.
- 농촌진흥청, 2000: 농업연구를 위한 통계적 방법. 농촌진흥청, 265-274.
- 박문용, 1999: 식량최대생산을 위한 맥류재배 확대방안. 환경친화형 농경지 고도 이용기술, 농촌진흥청 작물시험장, 193-214.
- 심교문, 이정택, 윤성호, 황규홍, 2000: 가을보리 재배기간 중의 기상변화. 한국농림기상학회지, 2(3), 95-102.
- 윤의병, 2000: 보리(대표저자 하용웅). 농촌진흥청 작물시험장, 기록문화사 발행, 212-213.
- 중앙기상대, 1988: 표고별 농업기후도. 중앙기상대, 103pp.
- 차중환, 김건수, 1989: 농림기상학. 선진문화사 발행, 201-307.
- 최돈향, 1987: 수도재배지대의 농업기후 구분. 연구와 지도, 농촌진흥청, 28(2), 1-5.
- 최돈향, 윤성호, 1989: 농업기후시대 구분과 기상재해 특성. 한국작물학회지, 34(별호), 13-33.

- 최돈향, 2001: 신고 농업기상학(저자대표 김광식)-환경·과학영농을 위한. 향문사 발행, 45-46.
- Ando, T., 1969: Weather influence on agricultural productivity. *Journal of the Agricultural meteorology of Japan*, **25**(2), 132-133.
- Ando, T., 1977: 再現期間(リターンピリオド)の推定方法. 新編農業氣象ハンドブック, 株式會社 養賢堂 發行, Tokyo, Japan, 806-808.
- Daigo, Y., K. Nomura, and Y. Suzuki, 1953: Agro-meteorological study for the locality of the crop damage in Japan(1st. report). *Journal of the Agricultural meteorology of Japan*, **8**(3,4), 129-133.
- Kojima, M., 1973: Climatic classification of Tohoku district by principal component analysis. *Journal of the Agricultural meteorology of Japan*. **29**(3), 165-172.
- Schwab, G. O., R. K. Frevert, T. W. Edminster, and K. K. Barnes, 1980: Soil and water conservation engineering. John Wiley & Sons, Inc., 35-51.
- 坪井八十二, 1986: 氣象と農業生産. 株式會社 養賢堂, 東京, 日本, 259pp.
- 坪井八十二, 1995: 農業氣象學. 株式會社 養賢堂, 東京, 日本, 277pp.