



황기 재배지에서 토양의 물리적 특성에 따른 습해 정도와 재배적지 기준 설정

이은송¹ · 현근수² · 김용일³ · 장재기⁴ · 안태진^{5*}

Establishment of Soil Suitability and Assessment of Wet Injury in *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bunge by Soil Properties

Eun Song Lee¹, Geun Soo Hyeon², Yong Il Kim³, Jae Ki Chang⁴ and Tae Jin An^{5*}

ABSTRACT

Received: 2021 March 29

1st Revised: 2021 May 19

2nd Revised: 2021 June 24

3rd Revised: 2021 July 21

Accepted: 2021 July 21

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Background: *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bunge is a crop whose underground part has medicinal uses. This study aimed to establish soil suitability for its cultivation and assess wet injury in *A. membranaceus* according to the soil properties.

Methods and Results: The soil texture of the plow layer, drainage grade, soil slope (%), the height and width of the ridge (cm) were measured at 26 cultivation locations of an *A. membranaceus* farm-house located in Jecheon, Korea with a Good Agricultural Practices (GAP) cultivation contract. The soil moisture content (%), electrical conductivity (ds/m), and temperature (°C) were surveyed, and the wet injury rate (%) was expressed by the percentage of damaged population in the overall population. The results showed that *A. membranaceus* cultivated in sandy loam soil was less likely to be damaged than in clay loam. Moreover, the wet injury rate was low under well drained conditions. Among the soil slopes, the damage was the least in grade B slopes (2% - 7%). In addition, when drainage occurred smoothly along the drainage channel and mulching cultivation was conducted, the wet injury decreased.

Conclusions: To establish soil suitability for reducing the wet injury, it is important to cultivate this crop on sandy loam soil with suitable drainage grade and drainage channel in locations with a grade B slope (2% -7%) and to increase the height of the ridge to more than 30 cm.

Key Words: *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bunge, Cultivation, Soil Physical Environment, Soil Suitability, Wet Injury

서 언

황기 [*Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bunge]는 콩과 (Leguminosae)에 속하는 숙근성 여러해살이 초본 약용식물이다. 뿌리를 식용 및 약용하기 때문에 지하부의 원활한 생육을 위하여 배수와 보수력이 양호한 토질에서 재배하는 것이 중요하다. 추위에 강하여 전국 어느 곳에서나 재배가 가능하며, 중남부 지역에서는 1년근 재배가 유리하고, 비교적 서늘한 중북부 고랭지대에서는 2년 이상 다년근 재배가 가능하다.

황기는 항염증, 항산화 작용 및 항고혈압 등의 효능을 인정 받았으며 (Kim *et al.*, 2013; Su *et al.*, 2016; Choi *et al.*, 2019), 한방에서는 십전대보탕, 방기황기탕 등으로 처방하고 있어 약용 및 식품용으로 인기가 많은 작물 중 하나이다 (Im *et al.*, 2010).

소득수준이 향상되고 웰빙에 대한 관심이 증가하면서 약용 작물의 소비가 증가하였지만 황기는 334 ha ('14) 재배되었던 것이 5년 만에 192 ha ('19)로 감소하였는데 (MAFRA, 2020), 이는 연작장해 회피를 위한 초작지 부족 현상이 신규

*Corresponding author: (Phone) +82-43-871-5667 (E-mail) atj0083@korea.kr

¹국립원예특작과학원 인삼특작부 약용작물과 농업연구사 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

²국립원예특작과학원 인삼특작부 인삼과 기술자문위원 / Advisory committee. Ginseng Research Division, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

³국립원예특작과학원 인삼특작부 약용작물과 농업연구사 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

⁴국립원예특작과학원 인삼특작부 약용작물과 농업연구관 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

⁵국립원예특작과학원 인삼특작부 약용작물과 농업연구관 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

재배면적의 감소를 유발한 이유가 크다.

강수량은 작물 생육에 영향을 주는 주요한 기상 요인 중 하나이다. 우리나라는 몬순 기후대에 속하며 여름철 강수량이 연 강우량의 절반 가량을 차지해 매년 집중호우에 의한 피해가 큰 실정이다 (Kwon *et al.*, 1982). 특히 2020년 여름 강수량은 1,081.9 mm였으며, 이 수치는 650.3 mm ('18)과 647.7 mm ('19)에 비해 매우 기록적이어서 (Fig. 1), 많은 작물 피해가 보고되었다(KMA, 2020).

홍수와 가뭄은 지난 50년 동안 전 세계적으로 빈도와 강도가 증가했으며, 미국을 포함한 북미대륙에서의 기상 시뮬레이션 모델은 2002년 대비 2030년까지 폭우가 30%까지 증가할 것이고 2090년까지 65%까지 증가할 것으로 예측되고 있다 (Rosenzweig *et al.*, 2002). 또한 이러한 과도한 수분 현상은 특정 국가나 지역에서 국지적으로 발생하는 것이 아니라 전 세계적으로 작물 수확량 손실을 유발하는 주요 비 생물적 스트레스이며 주로 장기간의 토양 배수 불량을 유발하게 되어 작물의 건물중, 종실 수량 등에 부정적 영향을 준다 (Setter and Waters, 2003).

습해가 작물 생육에 미치는 영향에 관한 연구는 다양하게 진행되어 토양 염류 농도가 높은 배수 약간 불량지 논토양에서 인삼 재배 시 적합한 두둑 높이는 30 cm인 것으로 밝혀졌고 (Lee *et al.*, 2015), 갯기름나물 (식방풍)의 습해 정도에 따라 ha 당 생근수량은 정상 생육에 비하여 80%까지 감소하였고, 지황은 ha 당 생근수량이 정상 생육에 비해 83%까지 감소하였다고 보고되어지고 있다 (Park *et al.*, 1999).

원활한 배수를 위하여 대상재배 (帶狀栽培)를 한 경우 수크령 (pearl millet) 및 동부 (cowpea)에서 범람 스트레스를 방지하여 초기 생장과 수량을 높였다고 보고되어지고 있다 (Hirooka *et al.*, 2019). 또한 기후변화에 대응하여 습해 저항성이 있는 품종육성 연구가 활발히 진행되고 있어 인위적 습해 유발 조건에서 2년생 인삼 품종의 생육 특성 비교 연구가 수행되었고 (Kim *et al.*, 2015), 침수 저항성 콩 유전자원 선발 연구가 진행된 바 있다 (Koo *et al.*, 2014).

토양의 물리성은 작물 생육과 밀접한 연관이 있을 뿐만 아

니라 불량할 경우 작물 생산이 제한받기도 한다 (Martin, 1953; Asady *et al.*, 1985). 그러나 2020년과 같은 기록적인 장마에 대비하여 작토층의 토성, 배수등급, 포장경사도 등의 토양 물리성에 의거한 황기의 재배적지 설정 연구는 미흡한 실정이다.

재배적지 설정에는 기후 정보와 토양 정보가 중요하며 포도의 생육과 관련된 기후인자와 토양인자를 선정하여 재배적지 구분 연구를 수행했을 때 전국 면적을 기준으로 포도의 적지는 3.43%로 나타났다 (Kim *et al.*, 2020b).

국내 기후조건에서 재배가 어려운 약용작물 감초의 신품종 원감 (Wongam, *Glycyrrhiza glabra* × *Glycyrrhiza uralensis*)의 국내 재배 적응성을 높이고 재배적지를 평가하기 위하여 온도 조건에 따라 생육, 수량을 조사하였을 때 2017년 충북 음성 기준으로 약 4.5°C까지 온도가 상승할수록 원감의 생산량이 증가한 것으로 나타났다 (Kim *et al.*, 2020a).

산채류의 주산단지인 강원도에서 4 개 지역 농가 포장을 중심으로 토양의 형태 및 물리 특성을 비교한 결과 토성이 (미사) 식양질이고 유효 토심은 100 cm 이상, 경사는 2% - 15%이며, 지형은 곡간 및 선상지이고 해발 500 m 이상인 토양에서 수량이 가장 높았다고 보고되었다 (Hyun *et al.*, 2010). 또한 고추 재배지의 토양 물리 특성과 수량을 비교한 결과 토성이 사양질이고, 배수가 양호하며, 경사는 7% - 15%이며 유효 토심이 100 cm 이상이고 경반층 깊이가 100 cm 이상이며 암반 노출이 없는 토양에서 수량이 가장 높았다고 보고되기도 하였다 (Jung *et al.*, 2004).

최근 기후변화로 인한 기상재해가 많이 발생하고 있기 때문에 급변하는 강우 영향에 대비한 재배적지 설정에 관한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구는 지속적 강우에 따른 황기 습해 피해 현장 조사를 통하여 황기 재배지 토양의 물리적 환경에 의한 습해 정도를 분석하여 재배적지의 토양 물리성 기준을 설정하고 추가적으로 필요한 재배법에 대해 알아보고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 조사 대상 및 내용

본 연구를 위하여 GAP 계약재배가 이루어지고 있는 제천시 소재 황기 [*Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bunge] 농가를 답사하였다. 조사 필지에서 습해 피해를 분석하기 위하여 연작에 의한 피해 발생 우려가 있는 기존 황기 재배 이력 필지는 조사 대상에서 제외하였다.

조사 대상지는 덕산면 (성암리 등 5 필지), 수산면 (하천리 1 필지), 백운면 (방학리 등 4 필지), 봉양읍 (명도리 등 4 필지), 송학면 (도화리 등 3 필지), 신월동 (5 필지), 두학동 (1 필지), 금성면 (동막리 등 3 필지)로 선정하였다 (Table 1). 강

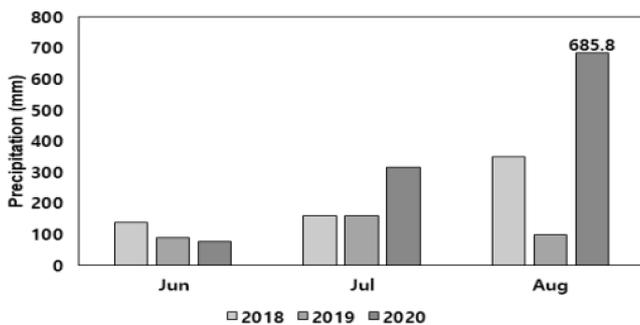


Fig. 1. Precipitation of June, July and August on 2018-2020.

황기 재배적지 기준 설정

Table 1. Address, field location and agricultural characteristics of survey field in Jecheon, Korea.

No	Address	Field location	Soil texture ¹⁾	Drainage grade ²⁾	Soil slope ³⁾	Ridge height (cm)	Wet injury rate (%)
1	Seongam-ri, Deoksan-myeon	Not measured	CL	WD	D	18	5
2	Dojeon-ri, Deoksan-myeon	36° 54'14"N / 128° 09'11"E	CL	WD	B	18	0
3	Dogi-ri, Deoksan-myeon	36° 52'51"N / 128° 14'02"E	SiCL	WD	D	18	5
4	Dogi-ri, Deoksan-myeon	36° 52'53"N / 128° 14'02"E	CL	WD	C	18	5
5	Seongo-ri, Deoksan-myeon	36° 53'58"N / 128° 10'50"E	L	WD	C	10	95
6	Hacheon-ri, Susan-myeon	36° 57'59"N / 128° 13'09"E	SiCL	WD	D	13	40
7	Banghak-ri, Baegun-myeon	37° 08'51"N / 127° 59'57"E	SL	WD	D	30	40
8	Banghak-ri, Baegun-myeon	37° 08'23"N / 127° 59'53"E	SL	WD	D	30	80
9	Banghak-ri, Baegun-myeon	37° 08'23"N / 127° 59'53"E	SL	WD	D	30	80
10	Wonwol-ri, Baegun-myeon	37° 07'32"N / 128° 00'41"E	SL	WD	B	20	40
11	Myeongdo-ri, Bongyang-eup	37° 08'23"N / 128° 07'59"E	SL	WD	C	37	5
12	Myeongdo-ri, Bongyang-eup	37° 09'21"N / 128° 08'01"E	SL	WD	B	37	5
13	Myeongdo-ri, Bongyang-eup	37° 09'22"N / 128° 07'60"E	SL	MWD	B	37	35
14	Myeongdo-ri, Bongyang-eup	37° 09'23"N / 128° 08'02"E	SL	WD	B	37	5
15	Dohwa-ri, Songhak-myeon	37° 11'02"N / 128° 14'43"E	SL	WD	B	38	40
16	Dohwa-ri, Songhak-myeon	37° 11'04"N / 128° 14'42"E	SL	WD	B	37	10
17	Dohwa-ri, Songhak-myeon	37° 11'04"N / 128° 14'43"E	SL	WD	B	33	90
18	Sinwol-dong	37° 09'50"N / 128° 10'59"E	SL	WD	B	43	0
19	Sinwol-dong	37° 09'48"N / 128° 11'16"E	SL	WD	B	45	40
20	Sinwol-dong	37° 09'32"N / 128° 11'21"E	SL	WD	B	30	10
21	Sinwol-dong	37° 09'33"N / 128° 11'21"E	SL	WD	B	30	20
22	Sinwol-dong	37° 08'52"N / 128° 11'26"E	SL	WD	B	40	20
23	Duhak-dong	37° 07'38"N / 128° 14'07"E	SiL	SPD	A	35	100
24	Dongmak-ri, Geumseong-myeon	37° 06'27"N / 128° 13'27"E	L	WD	C	40	5
25	Dongmak-ri, Geumseong-myeon	37° 06'27"N / 128° 13'27"E	L	WD	D	40	40
26	Dongmak-ri, Geumseong-myeon	37° 05'21"N / 128° 12'57"E	SL	WD	B	30	0

¹⁾Soil texture; SL (sandy loam), L (loam), SiL (silt loam), CL (clay loam), SiCL (silty clay loam). ²⁾drainage grade; WD (well drained), MWD (moderately well drained), SPD (somewhat poorly drained). ³⁾soil slope; A (< 2%), B (2% - 7%), C (7% - 15%), D (15% - 30%), E (30% - 60%), F (> 60%).

우 2 주 경과 후, 필지별 토성, 배수등급, 경사, 두둑 높이 등을 조사하였고 부가적으로 배수로 형성 여부, 두둑의 방향 및 피복재 사용 여부 등의 물리적 재배 환경을 조사하였다.

2. 토성판별

토성의 구분을 위하여 현장 토양조사 방법 (RDA, 2018)에 의거하여 현지에서 촉감감별법을 통하여 분류하였다.

반습 조건일 때 손가락을 이용하여 비비면 까칠까칠한 모래를 느낄 수 있으며 뭉쳐지나 잘 부서지며 엄지와 인지로 눌러도 지문을 볼 수 있고 토봉이 되지 않는 경우 사양토 (sandy loam, SL), 손가락으로 비비면 모래끼를 느끼나 덩이가 잘 부서지지 않고 지문이 약간 생기고 토봉이 만들어지나 쉽게 파

괴되며 누르면 용적감소가 큰 경우 양토 (loam, L), 모래끼 없이 밀가루나 시멘트 가루를 만지는 기분이며 습할 때도 점착성이 없고 토봉은 만들어지나 양토보다 더 잘 부서지는 경우 미사질 양토 (silt loam, SiL), 모래끼가 있고 점착성과 가소성이 있으며 확실한 지문을 볼 수 있으며 3 cm - 6 cm 의 토봉이 되나 손가락에 많이 달라붙고 저항성이 있는 경우 식양토 (clay loam, CL) 그리고 모래 끼는 거의 없고 점착성이 크며 3 cm - 6 cm 의 토봉이 비교적 잘 만들어지는 경우 미사질 식양토 (silty clay loam, SiCL) 등으로 각각 구분하였다.

3. 배수등급판별

토양 배수 등급 판별을 위하여 현장 토양조사 방법 (RDA,

2018)에 의거하여 유거, 투수, 지하수위, 토양 단면의 형태적 특성 및 50 cm 이상 토심을 이용하여 총 6 등급으로 나누었다.

경사가 심하거나 토층이 아주 얇거나 토층의 분화가 잘 되어 있지 않아서 물이 빨리 혹은 매우 빨리 빠지는 경우 매우 양호 (excessively drained), 토성이 비교적 중립질이며 대부분의 발토양의 경우에 해당하는 경우 양호 (well drained), 유거 및 투수가 약간 느리며 토양 단면이 때때로 습한 상태로 있는 경우 약간 양호 (moderately well drained), 유거와 투수가 느리거나 지하수위가 상당히 높아서 연중 상당 기간 토양이 과습한 상태로 남아 있는 경우 약간 불량 (somewhat poorly drained), 유거나 투수가 매우 느리거나 지하수위가 연중 표토 근처에 머물러 있는 경우 불량 (poorly drained), 유거가 매우 느리거나 물이 모이는 곳의 경우 매우 불량 (very poorly drained)으로 구분하였다.

4. 경사판별 및 휴고 측정

포장 경사는 현장 토양조사 방법 (RDA, 2018)에 의거하여 경사도계 (Suunto Tandem- 360PC/360R G Clino/Compass, Vantaa, Finland)를 사용하여 현장에서 실제 거리 100 m에서 해당 지점까지의 기울기 즉, 높이를 측정하여 백분율로 표시하였으며 (Fig. 2), A (<2%, 평탄지), B (2% - 7%, 매우 약한 경사), C (7% - 15%, 약한 경사), D (15% - 30%, 경사), E (30% - 60%, 심한 경사) 그리고 F (>60%, 매우 심한 경사)의 6 등급으로 구분하였으며 작토층의 두둑 높이 (휴고)는 필지 별 3 반복으로 측정하였다.

5. 작토층 수분함량, 전기전도도 및 온도

수분함량 (%), 전기전도도 (ds/m) 및 온도 (°C)는 토양수분 EC지은측정센서 (wet Sensor Probe Type, RF sensor, Seoul, Korea)를 이용하여 지표면에서 20 cm 깊이까지 측정하였으며 3 반복 수행하여 값을 평균하여 표시하였다.

6. 황기 고사 피해율

각 농가 필지별 황기의 생육상태는 강우 2 주 후 달관범으로 조사하였다. 습해로 인한 고사 피해율은 전체 재배면적에

서 고사한 개체가 차지하는 비율을 백분율로 표현하였다.

$$\text{Wet injury rate (\%)} = \frac{\text{damaged area}}{\text{total area}} \times 100$$

결과 및 고찰

1. 작토층 토성에 따른 습해 정도

토양 물리적 환경에 따른 황기 [*Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bunge]의 습해 피해를 분석하기 위해 작토층 토성에 따른 황기 습해 정도를 조사하였다. 전체 26 필지 중에서 19.2%에 해당하는 5 필지가 식양토 (미사질 식양토)에서 재배됐으며 80.8%가 사양토 (양토, 미사질양토)에서 재배된 것으로 파악되었다 (Table 2). 식양토 재배 필지로 제천시 성암리에서는 자갈이 있는 식양토, 도전리에서는 모난 자갈이 많은 식양토, 도기리에서는 미사질 식양토 및 식양토, 수산면에서는 미사질 식양토에서 재배되었다.

장마로 인하여 토양에 과습이나 침수조건이 오래 지속되면 식물은 뿌리 호흡과 활력이 저하되는데 이는 토양 내 용존산소가 뿌리 내로 원활히 공급되지 못하기 때문이다 (Carpenter and Mitchell, 1980; Tripepi and Mitchell, 1984; Ro *et al.*, 1995). 약용작물은 주로 지하부를 이용하기 때문에 작토층의 토성이 작물 생육에 매우 중요한 역할을 하며, 도라지는 사양토에서 수량이 가장 높고 뿌리썩음병 발생이 적은 것으로 밝혀졌다 (Lee *et al.*, 2000).

본 필지 조사 결과 작토층 토성에 따라 황기의 고사율은 달라졌는데 식양토에서의 고사율은 11.0% 였으며 사양토에서의 고사율은 36.2%로 나타났다 (Table 2).

작토층의 토성 자체가 황기 습해에 직접적으로 영향을 미치는 않았지만, 지속적 강우 발생 시 식양질 토성은 수분을 머금고 있는 특성으로 인해 간접적으로 습해를 가중시킬 수 있으므로 재배적으로 부적절하다. 이와 관련하여 녹비·사료작물이 미사질 양토에서 재배되었을 때 투수가 잘되지 않아 정체수로 인해 침수해와 습해를 받은 것이 보고된 바 있다 (Sohn *et al.*, 2009).

작토층의 수분함량은 식양토에서 27.0%, 사양토에서는

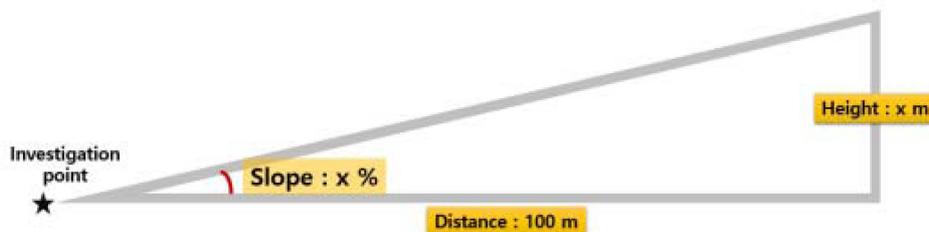


Fig. 2. Soil slope measurement method.

Table 2. Comparison of water content, electrical conductivity, temperature and wet injury rate according to the soil texture.

Soil texture ¹⁾	Distribution ratio (%) ²⁾	Water content (%)	EC (ds/m)	Temperature (°C)	Wet injury rate (%) ³⁾
CL	19.2	27.0±9.3	0.8±0.4	25.9±3.9	11.0±0.2
SL	80.8	14.6±3.8	0.4±0.4	25.8±2.6	36.2±0.3

¹⁾soil texture; CL [clay loam including SiCL (silty clay loam)], SL [sandy loam including L (loam)]. ²⁾distribution ratio (%) was expressed as a percentage of the number of field with corresponding soil texture in the total 26 field. ³⁾wet injury rate was expressed as a average value of each wet injury ratio corresponding soil texture on the Table 1.

14.6%였기에 식양토에서 사양토 토양수분 함량의 2 배에 달했다 (Table 2). 또한 토양 EC는 식양토에서 0.8 ds/m, 사양토에서 0.4 ds/m였고 토양온도는 식양토에서 25.9°C, 사양토에서 25.8°C 였다 (Table 2).

수산면 하천리 필지에서 배수등급은 양호 조건이었으나 (Table 1, No. 6) 지하수 유입에 의한 침수로 뿌리 썩음이 발생하였으며, 미사질 식양토 토성으로 강우가 지속되는 상황에서 배수가 원활히 이루어지지 않아 고랑 정체가 발생했으며 전체 황기 면적 중 40%가 고사 피해가 발생한 것으로 확인되었고 (Fig. 3A), 꼬투리의 결실 상태는 매우 불량하였다 (Fig. 3B). 뿌리에서는 토양 병원성 곰팡이인 *Fusarium* 균과 붉은 색소의 침적이 관찰되었다. (Fig. 3C).

2. 배수 등급에 따른 습해 정도

토양 배수 등급은 현장 토양조사 방법에 의거하여 (RDA, 2018) 유거, 투수, 지하수위, 토양 단면의 형태적 특성 등을 통하여 총 6 등급으로 나누어 판정하며 본 26 개의 조사

필지에서는 양호 (WD, well drained), 약간 양호 (MWD, moderately well drained), 약간 불량 (SPD, somewhat poorly drained)의 3 가지로 구분되었다 (Table 3). 이 중 양호 조건이 가장 많아 전체의 92.3%에 해당했으며 약간 양호와 약간 불량 조건이 3.8% 씩 차지했다. 배수 조건이 약간 불량 필지에서 수분함량이 19.0%로 가장 높았으며 습해가 100.0% 발생한 것을 확인할 수 있었고 (Table 3). 배수 등급은 황기의 습해에 영향을 미치는 주요인으로 작용하여 습해를 줄이기 위한 재배적지로 배수등급이 양호한 조건이 적절하다.

논토양 배수 등급별 인삼의 생육과 사포닌 함량을 분석해 본 결과 배수 약간 불량지에서는 지하수위가 연중 변화 폭이 크며 장마철 집중 강우 시 지하수위의 급상승으로 인하여 습해 발생이 우려된다고 보고되었다 (Lee *et al.*, 2013).

배수 등급 뿐만 아니라 재배적지를 설정할 때 포장 경사를 따라 물이 정체하지 않고 흐를 수 있도록 배수로를 별도로 조성하는 것도 필요하다. 수산면 농가 필지에서 습해가 컸던 요



Fig. 3. Wet injury by soil texture in Hacheon-ri, Susan-myeon field. (A); furrow moisture stagnation occurrence in loamy soils, (B); poor fruiting condition of the pods, (C); red pigment accumulation by *Fusarium* spp.

Table 3. Comparison of water content, electrical conductivity, temperature and wet injury rate according to the drainage grade.

Drainage grade ¹⁾	Distribution ratio (%) ²⁾	Water content (%)	EC (ds/m)	Temperature (°C)	Wet injury rate (%) ³⁾
WD	92.3	16.7±6.8	0.5±0.4	25.7±2.9	28.3±0.3
MWD	3.8	12.0	0.3	25.4	35.0
SPD	3.8	19.0	0.4	28.0	100.0

¹⁾Drainage grade; WD (well drained), MWD (moderately well drained), SPD (somewhat poorly drained). ²⁾distribution ratio (%) was expressed as a percentage of the number of field with corresponding drainage grade in the total 26 field. ³⁾wet injury rate was expressed as a average value of each wet injury ratio corresponding drainage grade on the Table 1.

인에는 작토층 토성이 식양질인 점도 있었지만 (Table 1, No. 6), 배수도가 별도로 조성되지 않아 물이 수일간 침수해있어서 식물체의 고사가 대면적으로 발생했다 (Fig. 3A).

두학동의 필지에서는 두둑의 이랑 높이가 35 cm로 높았으나 (Table 1, No. 23) 지대가 평지보다 낮고 배수도가 조성되지 않아 강우가 지속되었을 때 완전 침수로 인한 포장의 식물체 고사가 100% 발생했으며 논 잡초가 다량 발생하였다 (Fig. 4A). 이와는 대조적으로 금성면의 농가 필지는 포장 경사와 두둑 방향이 일치하여 경사를 따라 배수가 양호하게 이루어져 침식의 피해가 적었으며 식물체 고사 피해는 나타나지 않았다 (Table 4; Fig. 4B; Table 1, No. 26).

고사가 100% 발생한 두학동 필지의 경우 이랑의 수분함량은 $19.0 \pm 1.5\%$ 로 나타났으며, 고랑은 $40.3 \pm 4.1\%$ 로 이랑에 비해 약 2 배 높았다. 토양 경사를 따라 배수가 원활히 이뤄졌던 금성면 필지에서는 이랑의 수분함량은 $10.4 \pm 0.7\%$ 를 나타내었으며, 고랑에서는 이보다 약 2 배 높은 $21.6 \pm 4.2\%$ 로 확인되었다.

고랑에서 이랑보다 수분 함량이 높은 것은 상대적으로 높이가 높은 곳에서 낮은 쪽으로 수분이 이동하여 지하수로 흘러가는 수분의 이동 방향으로 설명된다. 두학동 필지에서 전기 전도도는 고랑에서 0.48 ± 0.0 ds/m을 나타내어 이랑의 전기 전도도 측정값인 0.38 ± 0.1 ds/m보다 높았으며, 토양온도는

이랑에서 $28.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 로 고랑의 $26.3 \pm 0.6^\circ\text{C}$ 에서보다 높았다. 식물체 고사 피해가 나타나지 않은 금성면 필지의 경우 전기 전도도는 고랑에서 0.25 ± 0.1 ds/m으로 나타나고 이랑의 경우 0.15 ± 0.10 ds/m의 값을 나타내어 고랑에서 더 높았으며, 토양 온도는 이랑에서 $24.2 \pm 1.3^\circ\text{C}$, 고랑의 경우 $22.2 \pm 0.7^\circ\text{C}$ 를 나타내어 이랑에서 더 높은 값을 나타내었다.

3. 경사 등급에 따른 습해 정도

경사도계를 이용하여 현장에서 실측 계산하여 백분율로 표시하여 총 6 등급으로 구분하였을 때, 본 26 개의 조사 필지에서는 A (<2%), B (2% - 7%), C (7% - 15%), D (15% - 30%)의 4 가지 등급으로 구분되었다 (Table 5). 각 등급별 필지의 비율은 A 등급 3.8%, B 등급 53.8%, C 등급 15.4%, D 등급이 26.9%였다. 조사 필지 수가 1 곳이었던 A 등급에서는 고사가 100% 발생하였으며, 토양 경사에 따른 습해 피해는 2% - 7% (B 등급)에서 22.5%로 가장 낮았고 경사도가 증가하면서 C 등급에서는 27.5%, D 등급에서는 41.4%를 나타냈다 (Table 5).

지속적 강우 발생 시 경사 등급은 습해에 미치는 주요인으로 작용하며 토양 경사를 따라 배수가 원활히 이루어지게 하는 것은 중요하나 오히려 경사가 15% 이상으로 높아지면 침식으로 인한 피해가 2차적으로 발생하는 것으로 파악된다. 따

Table 4. Comparison of water content, electrical conductivity, temperature and wet injury rate according to drainage formation in Duhak-dong and Dongmak-ri, Geumseong-myeon field.

No.	Field location	Water content (%)	EC (ds/m) ¹⁾	Temperature (°C)	Wet injury rate (%) ²⁾
23	37° 07'38" N	19.0±1.5 (Ridge)	0.38±0.06	28.0±0.5	100
	128° 14'07" E	40.3±4.1 (Furrow)	0.48±0.03	26.3±0.6	
26	37° 05'21" N	10.4±0.7 (Ridge)	0.15±0.10	24.2±1.3	0
	128° 12'57"E	21.6±4.2 (Furrow)	0.25±0.09	22.2±0.7	

¹⁾EC; electrical conductivity. ²⁾wet injury rate was expressed as a percentage of injured individuals area in the total cultivated area.



Fig. 4. Wet injury by drainage condition in Duhak-dong and Dongmak-ri, Geumseong-myeon field. (A); poorly drained soil in the lowland, (B); well drained soil drainable along the slope.

라서 지속적 강우 피해에 대비해서는 2% - 7%의 매우 약한 경사 (B 등급)가 있는 곳이 재배적지인 것으로 추론된다.

경사 등급 뿐만 아니라 두둑의 방향 및 피복재 사용 여부도 습해 피해에 간접적으로 영향을 줄 수 있다. 강우가 지속될 시 포장의 경사를 따라 배수가 원활히 이루어져야 하지만 포장 경사와 직각인 형태의 필지에서는 고랑에 물이 정체하여 고사 피해가 컸다. 제천시 덕산면 선고리의 농가 필지에서는 포장 경사도가 12% - 13% (C 등급)의 약한 경사였고 (Table 1, No. 5) 포장경사와 직각인 방향으로 두둑을 형성하여 고사 황기가 전체 면적의 95%를 차지하였다 (Fig. 5A).

제천시 금성면 동막리의 농가 필지에서는 포장의 상부는 7% - 8% (C 등급)의 약한 경사를 이루었고 (Table 1, No. 24; Fig. 5B), 포장 하부는 20% - 22% (D 등급)의 경사를 이루며 무피복 재배형태를 갖추었다 (Table 1, No. 25; Fig. 5C). 상부에서는 고사율이 5%에 그친 것이 비해 하부에서는 40%로 피해가 컸는데 이는 두둑 형성 방향이 포장 경사와 일치한 조건의 급경사인 하부에서 침식의 피해가 컸기 때문이다.

결론적으로 15% 이내의 약한 경사 등급 (A, B, C 등급)에서는 포장 경사와 두둑 방향이 일치하는 것이 좋으며, 15% 이상의 높은 경사 등급 (D, E, F 등급)에서는 사선 방향이 고사 피해를 줄일 수 있을 것으로 보인다.

두둑의 방향뿐만 아니라 피복재의 영향도 침식에 영향을 미치는데, 피복 재배는 가뭄 시 토양수분 유지에 도움을 주고, 침수 발생 시 토양 침식을 방지하는 역할을 한다. 금성면 농가의 경우 무피복 재배로 인하여 지속적 강우 시 급경사에서

침식의 피해가 가중된 것으로 추측된다 (Fig. 5C).

4. 두둑 외형에 따른 습해 정도

두둑 높이를 4 등급으로 구분했을 때 각각 차지하는 비율은 10 cm - 20 cm 두둑은 23.1%, 20 cm - 30 cm 두둑은 3.8%, 30 cm - 40 cm 두둑은 53.8%, 40 cm 이상 두둑은 19.2%였으며 (Table 7), 두둑 높이 당 고사율은 10 cm - 20 cm에서 25.0%, 20 cm - 30 cm에서 40.0%, 30 cm - 40 cm에서 37.1%였고 40 cm 이상 두둑에서 21.0%로 일관성이 없어 두둑의 높이는 주요인은 아닌 것으로 추측된다. 기존 보고된 바에 따르면 도라지, 잔대의 수량 증대를 위한 적정 두둑 높이는 40 cm였으며 적합한 피복재는 왕겨 이용 피복 재배가 증수에 효과적이었다 (Yoo *et al.*, 2007).

백운면 방학리 필지에서는 같은 필지 내 불규칙하게 형성된 두둑 높이에 따라라도 습해 발생에 차이가 있었다 (Fig. 6, Table 8). 방학리 필지의 두둑 높이는 모두 평균적으로 30 cm였으나 상대적으로 높이가 낮고 너비가 좁은 두둑에서는 높이가 더 높고 너비가 넓은 곳에서보다 고사 피해가 큰 경향을 나타냈으며 전체 포장 고사율은 40%에 달했다 (Fig. 6A). 이는 배수 약간 불량지 논토양에서 습해 방지를 위한 인삼 재배에 적합한 두둑 높이가 30 cm로 높았던 것과 유사하였다 (Lee *et al.*, 2015).

방학리 조사 필지 (Table 1, No. 7)에서 높고 넓은 두둑의 작토층 수분함량이 $13.6 \pm 0.8\%$ 로 나타난 것에 비해 좁고 낮은 두둑의 작토층 수분함량은 $16.2 \pm 2.4\%$ 로 나타나 두둑 높

Table 5. Comparison of water content, electrical conductivity, temperature and wet injury rate according to the soil slope.

Soil slope ¹⁾	Distribution ratio (%) ²⁾	Water content (%)	EC (ds/m) ³⁾	Temperature (°C)	Wet injury rate (%) ⁴⁾
A	3.8	19.0	0.4	28.0	100.0
B	53.8	14.4±5.1	0.5±0.4	25.9±3.1	22.5±0.2
C	15.4	18.7±3.5	0.6±0.4	24.9±1.1	27.5±0.5
D	26.9	19.9±10.2	0.4±0.4	25.9±3.1	41.4±0.3

¹⁾Soil slope; A (< 2%), B (2% - 7%), C (7% - 15%), D (15% - 30%), E (30% - 60%), F (> 60%). ²⁾Distribution ratio (%) was expressed as a percentage of the number of field with corresponding soil slope in the total 26 field. ³⁾EC; Electrical conductivity. ⁴⁾Wet injury rate was expressed as an average value of each wet injury ratio corresponding soil slope on the Table 1.



Fig. 5. Wet injury by drainage in Duhak-dong and Dongmak-ri, Geumsong-myeon field. (A); wet injury occurrence in the field with right angle between the field slope and the ridge direction, (B); wet injury non-occurrence on the field with gentle slope, (C); wet injury occurrence on the field with steep slope without mulching cultivation.

Table 7. Comparison of water content, electrical conductivity, temperature and wet injury rate according to the ridge height.

Ridge height (cm)	Distribution ratio (%) ¹⁾	Water content (%)	EC ²⁾ (ds/m)	Temperature (°C)	Wet injury rate (%) ³⁾
10 - 20	23.1	26.3±8.1	0.7±0.4	26.0±3.4	25.0±0.4
20 - 30	3.8	7.8	0.1	20.0	40.0
30 - 40	53.8	14.3±2.8	0.4±0.4	26.0±2.6	37.1±0.4
40	19.2	14.9±3.6	0.5±0.4	26.4±2.0	21.0±0.2

¹⁾distribution ratio (%) was expressed as a percentage of the number of field with corresponding ridge height in the total 26 field. ²⁾EC; electrical conductivity. ³⁾wet injury rate was expressed as a average value of each wet injury ratio corresponding ridge height on the Table 1.



Fig. 6. Wet injury by height and width of ridge and impact of slope and direction of ridge in Banghak-ri, baegun-myeon field. (A); comparison with high wet injury in low, narrow ridge and low wet injury in high, wide ridge, (B); survival in high ridge despite of the right angle between the field slope and ridge direction.

이와 너비 간 수분함량에 차이가 있었다 (Table 8). 이 필지에서 고사율이 40%에 그친 것은 포장의 경사와 두둑의 방향이 일치한 것에서 기인한다. 또 다른 방학리 필지 (Table 1, No. 9)에서는 포장 경사와 두둑 방향이 직각을 이루어 전체 포장 면적의 80% 황기가 고사 피해를 입었으나 일부 두둑 높이가 높은 곳에서는 황기 개체가 생존하였다 (Fig. 6B).

결론적으로 지속적 강우에 따른 황기의 습해를 줄이기 위해서는 사양질 토성을 가지면서 배수 등급이 양호하며, 2% - 7%의 매우 약한경사 (B 등급)인 곳이 재배적지인 것으로 밝혀졌고, 또한 경사 등급에 따른 두둑 방향 선정, 배수로 조성 및 피복재 사용을 통해 습해를 경감할 수 있는 것으로 추론된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ013630012021)의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

Asady GH, Smucker AJM and Adams MW. (1985). Seedling test for the quantitative measurement of root tolerances to

compacted soil. *Crop Science*. 25:802-806.
 Carpenter JR and Mitchell CA. (1980). Root respiration characteristics of flood-tolerant and intolerant tree species. *Journal of American Society of Horticultural Science*. 105:684-687.
 Choi DJ, Choi BR, Lee DY, Choi SI, Lee YS and Kim GS. (2019). Inhibitory effect of mixed extracts obtained from *Astragalus radix* and *Lithospermum radix* on matrix metalloproteinases in IL-1β-induced SW1353 cells and quantitative analysis of active compounds. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 27:247-258.
 Hirooka Y, Shoji K, Watanabe Y, Izumi Y, Awala SK and Iijima M. (2019). Ridge formation with strip tillage alleviates excess moisture stress for drought-tolerant crops. *Soil and Tillage Research*. 195:104429. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198719307548> (cited by 2021 March 29).
 Hyun BK, Jung SJ, Sonn YK, Park CW, Zhang YS, Song KC, Kim LH, Choi EY, Hong SY, Kwon SI and Jang BC. (2010). Comparison between methods for suitability classification of wild edible greens. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 43:696-704.
 Im KR, Kim MJ, Jung TK, and Yoon KS. (2010). Analysis of isoflavonoid contents in *Astragalus membranaceus* Bunge cultivated in different areas and at various ages. *KSBB Journal*. 25:271-276.
 Jung SJ, Park BS, Jang GS, Hyun BK and Rim SK. (2004). Suitability class criteria for red pepper with respect to soil morphology and physical properties. *Korean Journal of Soil*

- Science and Fertilizer. 37:336-340.
- Kim GS, Lee DY, Lee SE, Noh HJ, Choi JH, Park CG, Choi SI, Hong SJ and Kim SY.** (2013). Evaluation on extraction conditions and HPLC analysis method for bioactive compounds of Astragali radix. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 21:486-492.
- Kim JU, Lee JW, Jo IH, Kim DH, Kim KH and Kim YC.** (2015). Growth characteristics of 2-year-old cultivars in Korean ginseng(*Panax ginseng* C. A. Meyer) conditioned artificial wet injury. Korean Journal of Agricultural Science. 42:299-304.
- Kim YI, Lee JH, An TJ, Lee ES, Park WT, Kim YG and Chang JK.** (2020a). Study on the characteristics of growth, yield, and pharmacological composition of a new *Glycyrrhiza* variety licorice ‘Wongam(*Glycyrrhiza glabra*×*Glycyrrhiza uralensis*)’ in temperature gradient tunnel and suitable cultivation area of Korean. Horticultural Science and Technology. 38:44-55.
- Kim YS, Choi WJ, Hur JN, Shim KM and Jo SR.** (2020b). Study on land suitability assessment of grapes with regards to climate and soil conditions in South Korea. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology. 22:250-257.
- Koo SC, Kim HT, Kang BK, Lee YH, Oh KW, Kim HY, Baek IY, Yun HT and Choi MS.** (2014). Screening of flooding tolerance in soybean germplasm collection. Korean Journal of Breeding Science. 46:129-135.
- Korea Meteorological Administration(KMA).** (2020). Meteorological agency historical data. Korea Meteorological Administration. Seoul, Korea. <https://www.kma.go.kr/eng/index.jsp> (cited by 2021 March 29)
- Kwon SH, Lee SH and Hong EH.** (1982). Meteorological constraints and countermeasures in major summer crop production. Korean Journal of Crop Science. 27:398-410.
- Lee SW, Lee SH, Jang IB, Lan JM, Park KH and Kim KH.** (2015). Effect of ridge height on growth characteristics and yield of 6 Year old *Panax ginseng* in cultivation of paddy soil. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 23:351-356.
- Lee SW, Park KC, Lee SH, Kim GS, Jang IB, Kim YB and Cha SW.** (2013). Growth characteristics and ginsenoside contents of 6-year-old ginseng(*Panax ginseng* C. A. Meyer) by shade materials in paddy field. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 21:118-123.
- Lee YH, Cho JS, Choi YJ, Song GW, Kim MK and Yun HD.** (2000). Characteristics of continuous culture and soil texture and their effect on growth and yield of *Platycodon grandiflorus*. Korean Journal of Environmental Agriculture. 19:67-71.
- Martin WP.** (1953). Status report on soil conditioning chemicals. Soil Science Society of America Journal. 17:1-9.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA).** (2020). Production record of cash crops. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Sejong, Korea. p.3-35.
- Park SG, Kang DK, Chung SH and Choi BS.** (1999). Field survey of moisture injury in *Peucedanum japonicum* Thunberct and *Rehmannia glutinosa* Liboschitz. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 7:162-166.
- Ro HM, Park JM and Kim KY.** (1995). Effect of dissolved oxygen on the leaf water potentials, leaf nutrient compositions, root activities of Tsugaru apple tree and the chemical environment of rhizosphere. Journal of Korean Society for Horticultural Science. 36:493-499.
- Rosenzweig C, Tubiello FN, Goldberg R, Mills E and Bloomfield J.** (2002). Increased crop damage in the US from excess precipitation under climate change. Global Environmental Change. 12:197-202.
- Rural Development Administration(RDA).** (2018). On-site soil survey handbook to improve the precision of agricultural science and technology research and development and guidance projects. National Academy of Agricultural Science. Rural Development Administration. Jeonju, Korea. p.9-26.
- Setter TL and Waters I.** (2003). Review of prospects for germplasm improvement for waterlogging tolerance in wheat, barley and oats. Plant and Soil. 253:1-34.
- Sohn YM, Jeon GY, Song JD, Lee JH and Park ME.** (2009). Effect of spatial soil salinity variation on the growth of soiling and forage crops seeded at the newly reclaimed tidal lands in Korea. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer. 42:179-186.
- Su X, Huang Q, Chen J, Wang M, Pan H, Wang R, Zhou H, Zhou Z, Liu J, Yang F, Li T and Liu L.** (2016). Calycosin suppresses expression of pro-inflammatory cytokines via the activation of p62/Nrf2-linked heme oxygenase 1 in rheumatoid arthritis synovial fibroblasts. Pharmacological Research. 113:695-704.
- Tripepi RR and Mitchell CA.** (1984). Stem hypoxia and root respiration of flooded maple and birch seedlings. Plant Physiology. 60:567-571.
- Yoo YS, Park CB, Kim JY, Yoo DH, No SK and Ryu J.** (2007). Selection of ridge height and mulching materials for the improving yield of *Platycodon grandiflorus* and *Adenophora triphylla*. The 2nd International Symposium of The Korean Association of Societies for Plant Science. Section of Korean Journal of Breeding Science. Special Issue. 39:270-271.