



## 인삼 재배 시 양분수준이 침수피해에 미치는 영향

서수정<sup>1</sup> · 장인복<sup>2</sup> · 구성철<sup>3</sup> · 박준홍<sup>4</sup> · 김영창<sup>5</sup> · 유진<sup>6†</sup>

### Effect of Nutrient Levels on Waterlogging Stress in Ginseng Cultivation

Su Jeoung Suh<sup>1</sup>, In Bok Jang<sup>2</sup>, Sung Cheol Koo<sup>3</sup>, Jun Hong Park<sup>4</sup>, Young Chang Kim<sup>5</sup> and Jin Yu<sup>6†</sup>

#### ABSTRACT

Received: 2022 September 28  
1st Revised: 2022 November 1  
2nd Revised: 2022 November 14  
3rd Revised: 2022 November 22  
Accepted: 2022 November 22

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:** Nutrient conditions during plant growth may affect tolerance to abiotic stresses. This study investigated whether the waterlogging stress of ginseng (*Panax ginseng* C. A. Meyer) is affected by nutrient supply.

**Methods and Results:** Two-year-old ginseng was cultured under nutrient-deficient (ND), -moderate (NM), and -excessive (NE) conditions, and waterlogging treatment was implemented for 3 days in August. Waterlogging caused the loss of chlorophyll, a decrease in leaf turgor, and withering of the shoots. Waterlogging-induced damage to the shoots was highest under the ND condition, and it was minimal under the NE condition. Photosynthesis and stomatal conductance were decreased by waterlogging under all nutrient conditions, and the maximum quantum yield ( $F_v/F_m$ ) was highest for the NE condition. Waterlogging resulted in root rot and the loss of fine roots. Root rot after waterlogging was minimal under the NM condition. After waterlogging, root length and root weight were highest under the NM condition. The amino acid and sucrose content were also highest under the NM condition, before and after waterlogging. The saponin content was dependent on the nutrient levels, but was barely affected by waterlogging.

**Conclusions:** The findings of this study suggest that soil nutrient management as a standard condition during standard ginseng cultivation contributes to minimizing waterlogging stress.

**Key Words:** *Panax ginseng* C. A. Meyer, Amino Acid, Photosynthesis, Saponin, Sucrose, Waterlogging

## 서 언

지구 온난화에 따른 기후변화는 이상 고온이나 이상 저온, 집중 호우 등을 빈번히 발생시키고 있다. 환경 재해에 따른 농작물 피해는 침수에 의해 피해가 가장 크며, 우리나라는 장마 기간인 7월 - 8월에 발생 가능성이 높고 지하수위가 높거나 배수 불량지에서 피해가 많이 발생한다.

인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer)은 약용식물로 항암, 항산화, 혈액순화, 근력증진, 면역기능강화, 뇌기능 증진 등 다양한 약리작용을 가지고 있다 (Nam, 2002). 인삼은 다년생 작물로 재배기간이 4년 - 6년 소요되며, 반음지성 식물로 차

광시설 아래에서 재배된다. 토양수분함량은 인삼의 생육 및 품질에 가장 큰 영향을 주는 요소이다. 뿌리 비대가 이루어지는 7월 - 8월의 적절한 강우는 생산량을 높이지만 1일, 200 mm 이상의 폭우가 있는 해에는 수량이 많이 감소한다 (RDA, 2014).

인삼은 두둑 높이를 35 cm - 40 cm로 권장하는데 두둑이 낮거나, 차광시설 불량으로 누수가 심한 포장, 배수가 불량한 논에서 재배시 침수 피해가 많이 발생한다. 또한 장마가 끝나고 고온이 지속될 경우 피해가 가중되며, 식물체에 앙금과 오물이 덮이면 광합성을 할 수 없으며, 대기의 상대습도가 높은 조건에서 복사열로 엽육 조직이 손상되어 괴사하는 문제가 발생하기도 한다. 최근에는 인삼의 생육 및 광합성 속도는 침수

†Corresponding author: (Phone) +82-43-871-5624 (E-mail) yujin8603@korea.kr

<sup>1</sup>국립원예특작과학원 인삼특작부 인삼과 연구원 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

<sup>2</sup>국립원예특작과학원 인삼특작부 인삼과 연구사 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

<sup>3</sup>국립원예특작과학원 인삼특작부 인삼과 연구사 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

<sup>4</sup>국립원예특작과학원 인삼특작부 인삼과 연구관 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

<sup>5</sup>국립원예특작과학원 인삼특작부 인삼과 연구관 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

<sup>6</sup>국립원예특작과학원 인삼특작부 인삼과 연구사 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

일수 또는 침수 수위에 영향을 받는다고 보고된 바 있다. 4년근 이상 고년근부터 적변삼, 조기 낙엽, 뿌리 부패, 결주 등이 더 빨리 발생하여 품질이 저하되므로 조기 채굴의 우려가 높다 (RDA, 2014; Kim *et al.*, 2015; Suh *et al.*, 2021).

침수는 토양 내 산소 부족, 산화환원전위 변화, 양분 유실, 독성 물질의 발생을 일으킨다 (Drew and Sisworo, 1979; Gu and Kuk, 1996; Pan *et al.*, 2021). 침수로 인해 광합성 속도, 기공전도도, 엽록소 함량이 감소하고 이로 인해 잎은 노화되고 탄소동화작용은 저해된다. 토양의 산소 부족은 식물의 호흡을 저해하고 ATP 생성량도 감소하며, 뿌리 세근의 탈락과 뿌리 활성도 감소하여 양분 부족이 일어난다 (Schat, 1984; Milroy *et al.*, 2009). 세포단위에서는 활성 산소가 증가하고, 항산화 효소가 감소하며, 세포막 지질의 산화가 일어나 노화로 이어진다 (Manik *et al.*, 2019; Tian *et al.*, 2021).

환경적으로 침수 기간, 수위, 기온 등이 피해 정도에 영향을 주지만, 재배 시 양분 관리에 의해서도 피해도가 달라질 수 있다. 침수 피해 완화에 영향을 미치는 양분 종류로는 질소 (N)에 대한 연구가 많이 보고되었고, 칼륨 (K)이나 인 (P)의 공급도 피해를 완화하는데 영향을 미친다고 보고되었다. 철 (Fe), 아연 (Zn), 구리 (Cu), 브롬 (Br) 등의 미량원소 역시 침수에 따른 식물의 생육에 영향을 미친다고 알려져 있다 (Wang *et al.*, 2013; Ylivainio *et al.*, 2017; Manik *et al.*, 2019; Men *et al.*, 2020).

인삼은 양분요구도가 높지 않은 작물로서 인삼의 적정 토양 전기전도도 (electrical conductivity, EC)는  $0.5 \text{ ds}\cdot\text{m}^{-1}$  -  $1.0 \text{ ds}\cdot\text{m}^{-1}$ 을 권장하고 있으며  $1.0 \text{ ds}\cdot\text{m}^{-1}$  이상에서는 생리장해 등 염류 피해가 발생할 수 있다 (RDA, 2014). 그러나 다년간 재배하면서 염류가 지표층으로 이동하거나, 토양조건을 고려하지 않고 축분 퇴비 등을 과다하게 투입할 경우 높은 염의 농도로 인해, 황중, 적변, 생육부진 등의 염류 피해가 발생하게 된다 (Lee *et al.*, 2013; RDA, 2014). 그러나 아직까지 침수 환경에서의 양분 조건이 인삼 생육에 어떤 영향을 미치는지는 보고된 바 없다.

이에 본 연구는 인삼의 침수피해가 양분 수준에 영향을 받는지 조사하기 위해, 인삼을 양분 과부족 조건에서 재배한 후 침수에 대한 반응을 생육과 생리적 특성을 조사하여 그 결과를 보고하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 재료

본 실험은 충북 음성군에 소재한 광 투과율 10% 차광막이 설치된 비닐하우스에서 수행하였다. 묘삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer) 식재는 4월에 하였으며 침수 처리는 7월 30일에 하였는데, 8월의 평균온도는  $26.3 \pm 4.4^\circ\text{C}$ 였다.

인삼 재배 용토는 혼합토 (원야토/피트모스/펄라이트 = 7.0/2.5/0.5, v/v/v)에 축분 퇴비 (Sammani, NongHyup, Seoul, Korea)를 섞어서 사용하였다. 화분 (상부 외경 33.0 cm, 높이 29.3 cm)에 혼합토를 18 cm 높이로 담은 후 너두가 보이도록 화분당 6개의 재래종 묘삼을 수직으로 식재하고 위로 토양을 2.5 cm 덮었다. 각 처리당 6 반복으로 조성하고 토양수분이 15-20% (v/v)이 되게 관리하였다.

### 2. 양분수준 설정

토양 양분수준은 EC가  $0.5 \text{ ds}\cdot\text{m}^{-1}$  -  $1.0 \text{ ds}\cdot\text{m}^{-1}$ 이 되는 적정조건 (NM)과 EC가  $0.5 \text{ ds}\cdot\text{m}^{-1}$  이하인 부족구 (ND), EC가  $1.0 \text{ ds}\cdot\text{m}^{-1}$  이상이 되는 과다구 (NE)로 설정하였다.

적정구는 토양 혼합 시 축분 퇴비를 제품 권장량  $2 \text{ ton}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 을 처리하였고, 부족구는  $1 \text{ ton}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 을 처리하였으며, 과다구는  $5 \text{ ton}\cdot 10\text{a}^{-1}$  처리하였다. 토양 혼합 후 토양 EC가 부족구, 적정구, 과다구가 각각  $0.17 \text{ ds}\cdot\text{m}^{-1}$ ,  $0.33 \text{ ds}\cdot\text{m}^{-1}$ ,  $0.62 \text{ ds}\cdot\text{m}^{-1}$ 였으며 관수로 인해 더 낮아지는 경향이 있어 6월에 양액을 처리하여 양분 함량을 조절하였다. 적정구에 기준 양액 ( $6.0 \text{ mM KNO}_3$ ,  $1.5 \text{ mM Ca(NO}_3)_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $0.38 \text{ mM MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $0.75 \text{ mM KH}_2\text{PO}_4$ ,  $0.38 \text{ mM Mg(NO}_3)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )을  $0.8 \text{ l}\cdot\text{pot}^{-1}$  처리하고, 부족구는 기준 양액의 0.3 배, 과다구는 3 배의 농도로 같은 양을 1 회 처리하였다. 양액 처리 후 침수 처리까지 약 45 일간 재배하였다.

### 3. 침수 처리

선행 연구결과 (Suh *et al.*, 2021)에 따라 침수 피해가 약하게 발생하는 조건에서 시험하기 위해 침수 처리는 3 일간 하였으며, 침수 수위는 너두보다 낮게 처리하기 위해 화분을 내부 높이 15 cm의 상자 ( $48 \text{ cm} \times 32 \text{ cm}$ )에 비닐을 깔고 화분을 2 개씩 넣은 후 물을 채웠다 (Suh *et al.*, 2021). 각 양분 함량에 따른 대조구는 물이 담긴 상자에 같은 방식으로 10 분간 담수 후 꺼냈다.

### 4. 토양 화학성 및 식물체 무기성분 분석

토양 화학성 분석은 시험 종료 후에 토양을 채취하여 농업 과학기술 연구조사분석기준의 토양 분석법 (NIAS, 2000)에 준하여 분석하였으며 결과는 Table 1과 같다.

시험 중 토양 염류는 토양 센서 WT1000N (RF sensor, Seoul, Korea)로 EC를 측정하였다. 식물체의 무기성분 분석은 수확한 인삼의 지상부와 지하부를 동결건조하고 분쇄하여 시료로 사용하였으며 식물체 분석은 Yu 등 (2018)의 방법에 따라 실시하였다.

### 5. 생육 특성 조사

침수 피해율과 생육은 침수 종료 2 주 후에 조사하였다. 지

**Table 1.** Soil chemical properties after waterlogging according to nutrient level.

WA <sup>1)</sup>	Nut <sup>2)</sup>	pH	EC (ds/m)	NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	K Mg Na Ca				OM (g/kg)
						(cmol/kg)				
Control	ND	6.43	0.12	2.8	25.7	0.04	0.81	0.14	4.91	14.4
	NM	6.33	0.22	11.2	64.9	0.08	0.88	0.13	4.88	15.3
	NE	6.64	0.69	50.2	177.1	0.29	1.10	0.16	5.34	18.8
WA	ND	6.76	0.14	2.6	25.4	0.04	0.83	0.14	4.86	14.7
	NM	6.67	0.20	8.5	70.1	0.09	0.91	0.14	4.82	18.7
	NE	6.64	0.51	33.9	186.6	0.29	0.99	0.13	4.81	17.9

<sup>1)</sup>WA; waterlogging, <sup>2)</sup>Nut; nutrient treated in deficient, moderate, and excess amount for ND, NM, and NE, respectively.

상부 피해율과 뿌리썩음율은 피해 발생 주수 대비 전체 주수의 백분율로 구하였는데, 잎이 처진 것, 황화한 것, 고사한 것을 지상부 침수 피해로 판정하였고, 동체 말단이 썩어 녹아버린 경우를 뿌리 썩음으로 판정하였다.

초장은 지표로부터 가장 긴 길이를 조사하였고, 엽록소 함량은 엽색계 (SPAD-502Plus, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 조사하였다. 지상부가 고사한 경우 조사에서 제외하였다. 근장은 뇌두부터 잔뿌리를 포함하여 가장 긴 위치를 조사하였고, 근경은 뿌리의 가장 두꺼운 지점의 두께를 조사하였다. 잔뿌리의 발달 상태는 육안으로 판단하여 점수를 부여하였다 (0: 없음 - 3: 많음). 인삼 뿌리의 조직 경도는 뇌두 아래 10 mm - 15 mm 부위를 식품물성시험기 (TA1, Lloyd, Ametek Inc., Largo, FL, USA)를 이용하여 조사하였다. 지하부가 1/2 이상 부패하였으면 조사에서 제외하였다. 6 반복 시험구에서 얻은 시료를 합하여 개체 간 평균을 구하였는데, 건조중량은 반복구별 시료의 전체 무게를 개체수로 나누고 6 반복에 대한 평균을 구하였다.

### 6. 광합성 특성 조사

광합성은 주로 오전 10시 - 12시에 가장 큰 소엽에서 조사하였으며 portable photosystem (Li-6800, LI-COR Bio-sciences, Lincoln, NE, USA)을 이용하여 측정하였다. 광합성 측정 챔버로부터 적색 : 청색 = 5 : 5 LED 광을 200  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  조사하였고, 챔버 내 온도와 CO<sub>2</sub> 농도는 각각 25°C와 400  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 이었다.

Photosystem II의 최대 양자수율 (maximum quantum yield, F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>)은 Handy PEA (Hansatech Instruments Ltd., King's Lynn, England)을 이용하여 측정하였고, 리프클립 (leaf clip)으로 잎을 물려 20 분간 암 처리를 한 후 조사하였다.

### 7. 아미노산 및 당류 분석

아미노산 분석은 농업과학기술 연구조사분석기준의 토양 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 alanine (Ala), arginine (Arg), aspartate (Asp), cysteine (Cys), glutamate (Glu), glycine (Gly),

histidine (His), isoleucine (Iso), leucine (Leu), phenylalanine (Phe), proline (Pro), serine (Ser), threonine (Thr), tyrosine (Tyr), valine (Val)과 같은 아미노산 함량을 조사하였다.

당류는 식품의약품안전처의 단당류 및 이당류 분석법 (MFDS, 2022)에 따라 sucrose, fructose, glucose를 분석하였다.

### 8. 사포닌 함량 분석

사포닌은 ginsenoside Re (Re), ginsenoside Rg1 (Rg1), ginsenoside Rf (Rf), ginsenoside Rb1 (Rb1), ginsenoside Rg2 (Rg2), ginsenoside Rh1 (Rh1), ginsenoside Rc (Rc), ginsenoside Rb2 (Rb2), ginsenoside Rb3 (Rb3), ginsenoside Rd10 (Rd10)을 Yu 등 (2018)이 서술한 방법에 따라 Nexera X2 UPLC system (Shimadzu, Kyoto, Japan)을 이용하여 측정하였다.

### 9. 통계처리

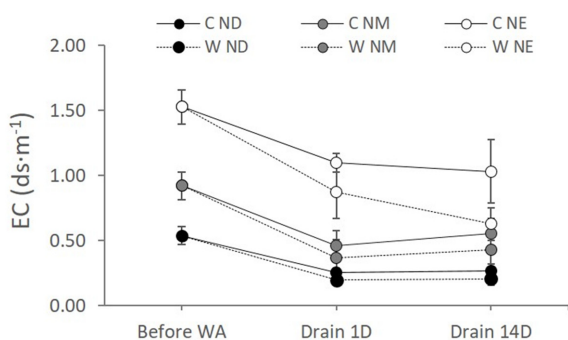
통계분석은 SAS v9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 ANOVA 분석을 수행한 후 DMRT (Duncan's Multiple Range Test)을 이용하여 5% 수준에서 유의성을 검정하였다 ( $p < 0.05$ ).

## 결과 및 고찰

### 1. 양분수준에 따른 침수 후 토양 화학성

인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer) 침수 처리 전 토양 EC는 부족구, 적정구, 과다구가 각각 0.54  $\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$ , 0.92  $\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$ , 1.53  $\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$ 이었다. 침수 처리 후에는 부족구, 적정구, 과다구가 각각 0.20  $\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$ , 0.37  $\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$ , 0.88  $\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$ 으로 모든 처리구의 EC는 감소하였다. 대조구도 일시적으로 감소하였으므로 EC가 감소하여 부족구, 적정구, 과다구가 각각 0.26  $\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$ , 0.46  $\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$ , 1.10  $\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$ 이었다 (Fig. 1).

토양 화학성 분석결과 침수구의 유효인산 (Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 치환성 양이온 (Ex. K, Ex. Mg, Ex. Na, Ex. Ca) 그리고 유기물 함량은 대조구와 큰 차이가 없었으나 질산태 질소 (NO<sub>3</sub>-N)의 양은 대조구 대비 70%로 침수로 인한 유실이 큰 것으로



**Fig. 1. Electrical conductivity (EC) change before and after waterlogging (W) treatment in control (C) and waterlogging (W) treatment.** Nutrient was treated in deficient (ND), moderate (NM), and excess (NE) amounts.

판단된다 (Table 1).

NO<sub>3</sub>-N은 침수 토양에서 부족하기 쉬운 양분 요소로 작물 생육에 필요한 질소의 공급에 어려움이 있을 것으로 사료된다 (Drew and Sisworo, 1979; Fillery and Mcinnes, 1992).

**2. 양분수준에 따른 침수 후 식물체 무기성분 변화**

대조구의 지상부 무기성분 함량을 조사하였을 때 질소 (N)

와 나트륨 (Na)은 양분 처리량에 비례하여 과다구가 가장 높았으나, 인 (P)과 칼슘 (Ca)은 적정구에서 가장 높았다. 칼륨 (K)은 과다구가 적정구보다 2.6 배 높았으며, 부족구도 적정구보다 약간 높았다. 반면 마그네슘 (Mg)과 망간 (Mn)은 양분 처리량에 반비례하였으며, 아연 (Zn)과 구리 (Cu)은 부족구에서 다른 처리구보다 높았고 적정구와 과다구는 서로 비슷하였다 (Table 2).

침수 처리는 지상부의 무기성분량에 전반적으로 큰 영향을 주지 않았으나, 적정구와 과다구의 N이 다소 증가하였으며, K 역시 모든 처리구에서 다소 증가하였다. P는 침수에 의해 모두 함량이 감소하였으며, Cu가 적정구와 과다구에서 감소하였다 (Table 2).

대조구의 지하부 무기성분 중 N과 Na는 적정구에서 가장 높았으며, K는 양분 처리량에 비례하여 과다구에서 가장 높았다. P는 부족구에서 가장 낮았으며 Fe는 과다구에서 가장 높았다. 반면 Mn, Zn, Cu는 부족구에서 가장 높았다 (Table 3).

침수 처리 후 지하부 무기성분량 역시 크게 변동하지 않았으나, 적정구의 N과 K는 감소하고 과다구의 N과 K는 증가하는 경향이였으며, Fe가 부족구에서 증가하고 적정구에서는 감소하였다 (Table 3).

포도나무 및 면화에서는 침수 이후 식물체내 무기성분이 감

**Table 2. Effects of nutrient level and waterlogging on the mineral contents of ginseng shoots.**

WA <sup>1)</sup>	Nut <sup>2)</sup>	T-N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
		%							mg/kg		
Control	ND	2.03 <sup>d</sup>	0.45 <sup>c</sup>	0.44 <sup>d</sup>	2.66 <sup>c</sup>	0.50 <sup>b</sup>	0.35 <sup>e</sup>	260.8 <sup>a</sup>	80.0 <sup>a</sup>	48.3 <sup>a</sup>	8.3 <sup>a</sup>
	NM	2.16 <sup>cd</sup>	0.50 <sup>a</sup>	0.38 <sup>e</sup>	2.98 <sup>a</sup>	0.46 <sup>c</sup>	0.55 <sup>b</sup>	264.3 <sup>a</sup>	52.5 <sup>c</sup>	35.8 <sup>b</sup>	6.8 <sup>b</sup>
	NE	2.36 <sup>b</sup>	0.48 <sup>b</sup>	1.00 <sup>b</sup>	2.77 <sup>b</sup>	0.38 <sup>d</sup>	0.59 <sup>a</sup>	250.4 <sup>a</sup>	37.6 <sup>e</sup>	35.8 <sup>b</sup>	6.2 <sup>b</sup>
WA	ND	2.03 <sup>d</sup>	0.39 <sup>e</sup>	0.51 <sup>c</sup>	2.55 <sup>d</sup>	0.51 <sup>a</sup>	0.36 <sup>e</sup>	237.7 <sup>ab</sup>	77.4 <sup>b</sup>	49.5 <sup>a</sup>	7.8 <sup>a</sup>
	NM	2.31 <sup>bc</sup>	0.40 <sup>d</sup>	0.43 <sup>d</sup>	2.71 <sup>bc</sup>	0.45 <sup>c</sup>	0.48 <sup>d</sup>	214.8 <sup>b</sup>	49.4 <sup>d</sup>	32.2 <sup>c</sup>	5.0 <sup>c</sup>
	NE	2.52 <sup>a</sup>	0.42 <sup>d</sup>	1.12 <sup>a</sup>	2.39 <sup>e</sup>	0.38 <sup>d</sup>	0.51 <sup>c</sup>	264.3 <sup>a</sup>	37.2 <sup>e</sup>	31.6 <sup>c</sup>	4.8 <sup>c</sup>

<sup>1)</sup>WA; waterlogging, <sup>2)</sup>Nut; nutrient treated in deficient, moderate, and excess for ND, NM, and NE, respectively. \*Values with different letters within a column are significantly different by Duncan's Multiple Range Test (*p* < 0.05).

**Table 3. Effects of nutrient level and waterlogging on the mineral contents of ginseng roots.**

WA <sup>1)</sup>	Nut <sup>2)</sup>	T-N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
		%							mg/kg		
Control	ND	2.48 <sup>bc</sup>	0.42 <sup>c</sup>	1.26 <sup>d</sup>	0.24 <sup>b</sup>	0.20 <sup>a</sup>	0.15 <sup>b</sup>	159.0 <sup>b</sup>	42.0 <sup>b</sup>	28.6 <sup>a</sup>	8.9 <sup>a</sup>
	NM	2.68 <sup>a</sup>	0.47 <sup>b</sup>	1.41 <sup>c</sup>	0.25 <sup>b</sup>	0.20 <sup>a</sup>	0.15 <sup>a</sup>	155.6 <sup>b</sup>	33.7 <sup>c</sup>	21.0 <sup>c</sup>	4.4 <sup>b</sup>
	NE	2.33 <sup>d</sup>	0.47 <sup>b</sup>	1.78 <sup>b</sup>	0.22 <sup>c</sup>	0.19 <sup>ab</sup>	0.14 <sup>c</sup>	183.2 <sup>a</sup>	29.2 <sup>e</sup>	13.1 <sup>f</sup>	4.2 <sup>b</sup>
WA	ND	2.42 <sup>cd</sup>	0.39 <sup>d</sup>	1.27 <sup>d</sup>	0.25 <sup>b</sup>	0.20 <sup>a</sup>	0.14 <sup>bc</sup>	190.3 <sup>a</sup>	46.9 <sup>a</sup>	26.8 <sup>b</sup>	9.3 <sup>a</sup>
	NM	2.54 <sup>b</sup>	0.49 <sup>a</sup>	1.38 <sup>c</sup>	0.27 <sup>a</sup>	0.19 <sup>b</sup>	0.15 <sup>a</sup>	101.0 <sup>c</sup>	34.0 <sup>c</sup>	19.3 <sup>d</sup>	4.9 <sup>b</sup>
	NE	2.43 <sup>bc</sup>	0.49 <sup>a</sup>	1.84 <sup>a</sup>	0.26 <sup>a</sup>	0.19 <sup>a</sup>	0.14 <sup>bc</sup>	175.7 <sup>a</sup>	32.0 <sup>d</sup>	15.7 <sup>e</sup>	4.2 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>WA; waterlogging, <sup>2)</sup>Nut; nutrient treated in deficient, moderate, and excess for ND, NM, and NE, respectively. \*Values with different letters within a column are significantly different by Duncan's Multiple Range Test (*p* < 0.05).

소하였다고 보도되었으나 (Milory *et al.*, 2009; Kang *et al.*, 2010), 본 연구에서는 지상부와 지하부 모두 침수에 의한 무기 양분의 감소는 뚜렷이 나타나지 않았다. 이는 침수 이후 분화와 신장이 계속되지 않는 인삼의 특징과 침수기간과 회복 일수 등의 차이로 인한 것으로 추측된다.

### 3. 양분수준에 따른 침수 후 지상부 생육 특성

침수 처리 중에는 지상부에 뚜렷한 변화는 없었으나 배수 후에 증상이 나타나기 시작하여 1 주일 후에는 피해구의 대부분이 잎이 처지거나 황화되었고, 심한 경우 잎 또는 줄기까지 고사하였다. 지상부 최종 피해율은 양분 부족구가 76.4%로 가장 높았으며, 적정구가 43.9%, 과다구가 29.2%의 피해 증상을 보였다 (Table 4, Fig. 2).

배수 후 7 일차에는 침수구의 엽록소 함량 (SPAD)은 부족구, 적정구, 과다구가 각각 23.8, 27.4, 26.9로 부족구에서 가장 낮았으나 최종 조사에서 생존 개체들만 조사되었으므로 과다구의 엽록소 함량이 25.4로 가장 낮았다. 초장은 침수나 양분량에 영향을 받지 않았으며, 지상부 생체중은 침수를 처리한 부족구가 가장 낮았으나 건조중량은 차이가 없었다 (Table 4).

### 4. 양분수준에 따른 침수 후 광합성 특성 변화

침수 처리 전 광합성 속도는 양분 함량에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 대조구의 경우 과다구가 관수에 의해 광합성 속도가 일시적으로 증가하였다가 감소하였지만, 부족구는 상대적으로 일정한 수준을 유지하였다 (Fig. 3A).

침수 처리구의 광합성 속도는 배수 1 일 후 양분 함량에 관계없이 모두 감소하였다. 배수 14 일 후에는 광합성 속도는 회복이 되어  $1.3 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  이상이 되었지만 침수 무처리구에 비해서는 낮았다 (Fig. 3A).

기공전도도는 침수 처리 전에는 부족구 > 적정구 > 과다구 순으로 높았는데, 대조구는 담수 이후 모두 증가하였다가 감소하였으며 부족구는 다른 처리에 비해 항상 높았다 (Fig. 3B).

침수 처리구의 기공전도도는 부족구와 적정구에서 감소하였으며, 광합성 속도와 달리 배수 14 일 까지 회복하지 못하였다. 과다구는 이미 기공전도도가 낮은 상태에서 더 감소하지 않

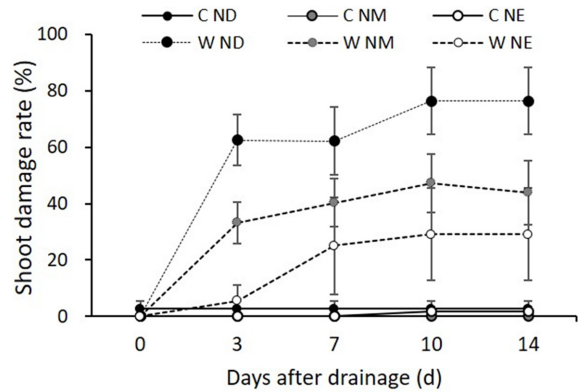


Fig. 2. Shoot damage rate after drainage of waterlogging. C; control, W; waterlogging, ND, NM and NE; nutrient treated in deficient, moderate, and excess amounts, respectively.

았지만 배수 14 일 후에는 증가하는 경향을 보였다 (Fig. 3B).

$F_v/F_m$ 은 침수 전에는 평균 0.80으로 양분량에 따른 차이를 보이지 않았으며 담수 후에도 큰 변화는 없었다. 그러나 침수 처리구의 부족구와 적정구의  $F_v/F_m$ 은 배수 1 일 후부터 감소하기 시작하여 배수 7 일 후에는 모두 0.75 이하로 떨어졌고 배수 14 일까지 회복하지 못하였다. 그러나 과다구는  $F_v/F_m$ 의 감소속도가 느려 배수 7 일차에 0.78이었으며 배수 14 일 후에는 다소 증가하여 다른 처리구들 보다 높았다 (Fig. 3C).

질소 시비는 침수 시 엽록소 형광반응을 포함한 광합성 활성을 유지하는 데 도움이 되는데 최적의 질소량은 종류나 침수 유무에 따라 다르다 (Bentancour-osorio *et al.*, 2016; Flórez-Velasco *et al.*, 2015; Tian *et al.*, 2021). 본 연구에서는 침수 후에  $F_v/F_m$ 은 양분 함량에 영향을 받았으나 광합성 속도와 기공전도도는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

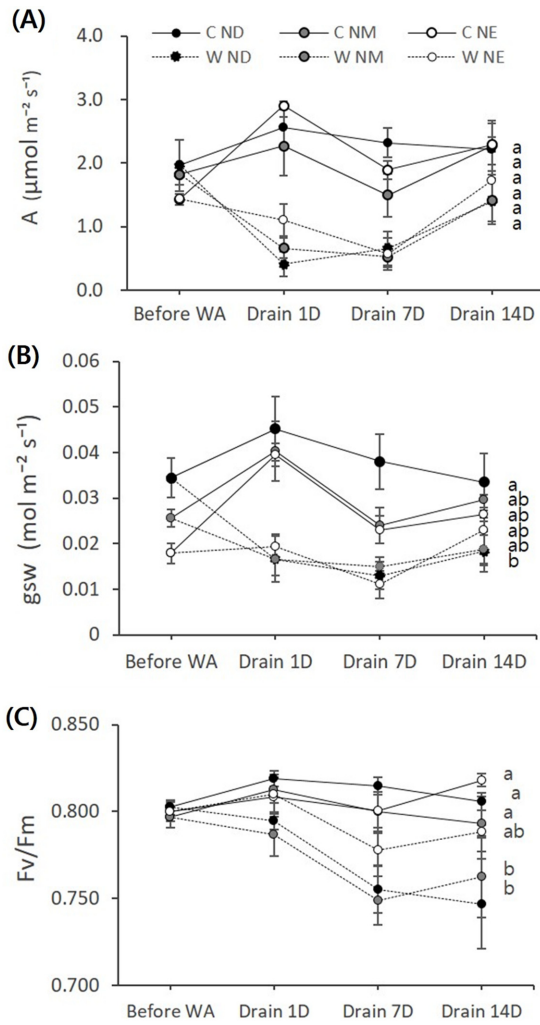
### 5. 양분수준에 따른 침수 후 지하부 생육 특성

침수에 따른 뿌리 피해는 동체의 뿌리끝이 썩어 소실되거나 잔뿌리가 소실되는 것으로 나타났다. 뿌리썩음은 부족구에서 가장 높았는데 29.3% 발생하였고, 다음으로 과다구에서 16.3% 발생하였다. 적정구는 뿌리썩음이 8.3% 발생하여 가장

Table 4. Effects of nutrient level and waterlogging on the shoot properties of ginseng.

WA <sup>1)</sup>	Nut <sup>2)</sup>	SDR <sup>3)</sup> (%)	SPAD	Shoot length (cm)	Shoot weight (g)	SDW <sup>4)</sup> (g)
Control	ND	2.8±2.8 <sup>c</sup>	26.4±0.9 <sup>ab</sup>	19.5±0.5 <sup>a</sup>	1.25±0.05 <sup>a</sup>	0.29±0.01 <sup>a</sup>
	NM	0.0±0.0 <sup>c</sup>	27.1±0.7 <sup>ab</sup>	19.5±0.5 <sup>a</sup>	1.30±0.05 <sup>a</sup>	0.30±0.01 <sup>a</sup>
	NE	1.7±1.7 <sup>c</sup>	27.0±0.8 <sup>ab</sup>	19.8±0.4 <sup>a</sup>	1.23±0.05 <sup>a</sup>	0.28±0.00 <sup>a</sup>
WA	ND	76.4±11.9 <sup>a</sup>	28.6±1.8 <sup>a</sup>	18.9±0.6 <sup>a</sup>	0.98±0.09 <sup>b</sup>	0.30±0.02 <sup>a</sup>
	NM	43.9±11.3 <sup>b</sup>	28.2±0.9 <sup>ab</sup>	19.6±0.7 <sup>a</sup>	1.22±0.06 <sup>a</sup>	0.30±0.02 <sup>a</sup>
	NE	29.2±16.4 <sup>bc</sup>	25.4±0.7 <sup>b</sup>	19.0±0.6 <sup>a</sup>	1.17±0.06 <sup>a</sup>	0.27±0.00 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>WA; waterlogging, <sup>2)</sup>Nut; nutrient treated in deficient, moderate, and excess for ND, NM, and NE, respectively, <sup>3)</sup>SDR; shoot damage rate, <sup>4)</sup>SDW; shoot dry weight. Values with different letters within a column are significantly different by Duncan's Multiple Range Test ( $p < 0.05$ ).



**Fig. 3.** Effects of nutrient level and waterlogging on the photosynthetic properties of ginseng. (A) photosynthetic rate, (B) stomatal conductance and (C) chlorophyll fluorescence. C; control, W; waterlogging, ND, NM and NE; nutrient treated in deficient, moderate, and excess amounts, respectively. \*Different letters within a day indicate significant difference between treatments based on Duncan's Multiple Range Test ( $p < 0.05$ ).

상태가 양호하였다 (Table 5). 대조구의 세근량은 적정구 > 부족구 > 과다구 순이었는데, 침수처리를 한 경우 모든 처리구에서 무처리 대비 약 50% 정도로 세근량이 감소하여, 잔존량 역시 적정구에서 가장 높았다 (Table 5, Fig 4).

대조구의 근장은 적정구 > 부족구 > 과다구 순이었으며, 근경과 근중은 적정구 > 과다구 > 부족구 순으로 차이가 있었다. 침수 처리 후에는 근장과 근중은 모두 감소하였는데 근장과 근중 모두 적정구에서 가장 높았으며, 근경은 차이가 없었다. 뿌리의 경도는 양분량이나 침수 처리에 영향을 받지 않았다 (Table 5).

침수로 인해 과다구의 염류가 씻겨나가 염류 농도는 감소하였지만, 침수로 인한 토양 환경의 변화 및 인삼의 스트레스의 반응은 계속되었을 것으로 보인다. 또한 지상부의 광합성 저해는 탄소동화 물질 전류를 감소시켜 뿌리의 회복을 어렵게 하였을 것이다.

침수 처리구의 지하부의 생육은 적정구에서 가장 양호하였는데, 이는 침수 전 이미 생육 상태가 우수하였기 때문으로 생각된다. 그런데 적정구는 뿌리부패 증상도 제일 적게 발생하여 질적으로도 침수에 내성을 가지고 있는 것으로 추측된다.

### 6. 양분수준에 따른 침수 후 지하부 아미노산 및 당분 함량

대조구의 총 아미노산 함량은 적정구에서 가장 높았다. 성분별 함량으로는 Arg, Asp, Glu이 각각 42.9%, 9.5%, 8.8%로 다른 아미노산들 보다 함량이 높았다 (Table 6, Fig. 5A).

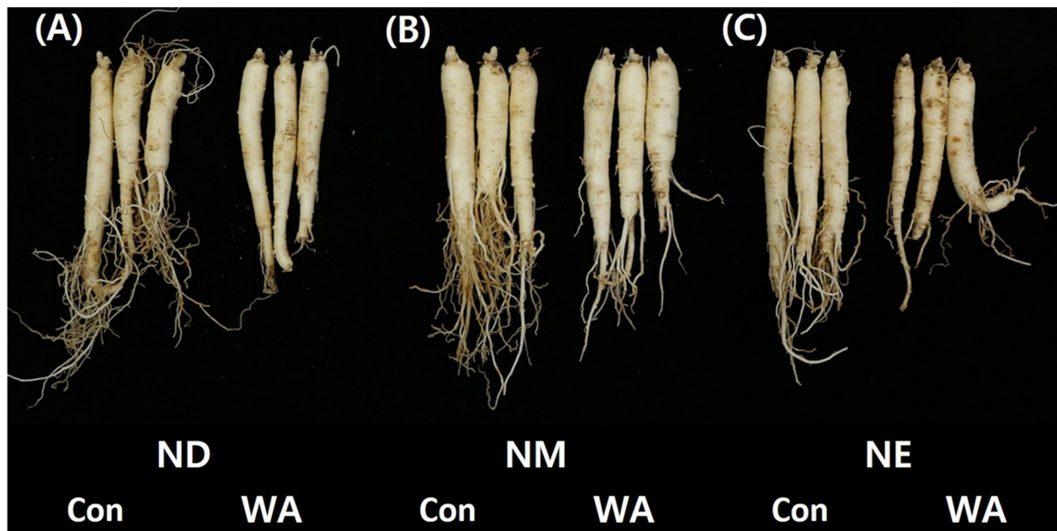
침수 처리 후 적정구는 총 아미노산 함량에 큰 차이가 없었지만, 부족구와 과다구의 총 아미노산함량은 대조구 대비 증가하였다 (Fig. 5A). 성분별로는 Asp와 Ala은 모든 처리구에서 증가하였는데 특히 부족구의 변화가 컸다. Thr, Glu, Gly, Iso, Phe은 과다구에서 증가하였는데, 이중 Glu의 변화가 가장 컸다. Leu, Lys, Pro은 부족구와 과다구에서 모두 증가하였다.

대조구의 sucrose 함량은 적정구 > 부족구 > 과다구 순으로 높았다. 침수처리에 의해 sucrose 함량은 모두 감소하였는데, 각각의 대조구 대비 부족구는 52.7%, 적정구는 77.4%, 과다구

**Table 5.** Effects of nutrient level and waterlogging on the root properties of ginseng.

WA <sup>1)</sup>	Nut <sup>2)</sup>	RRP <sup>3)</sup> (%)	Root length (cm)	Root diameter (mm)	Root weight (g)	Root dry weight (g)	FRD <sup>4)</sup> (0-3)	Hardness (N)
Control	ND	0.0±0.0 <sup>c</sup>	12.0±0.5 <sup>ab</sup>	8.3±0.2 <sup>b</sup>	2.69±0.13 <sup>bc</sup>	0.73±0.04 <sup>ab</sup>	2.1±0.1 <sup>b</sup>	23.5±1.1 <sup>a</sup>
	NM	0.0±0.0 <sup>c</sup>	12.8±0.5 <sup>a</sup>	9.1±0.2 <sup>a</sup>	3.39±0.14 <sup>a</sup>	0.83±0.03 <sup>a</sup>	2.6±0.1 <sup>a</sup>	25.7±0.7 <sup>a</sup>
	NE	0.0±0.0 <sup>c</sup>	10.9±0.5 <sup>b</sup>	8.5±0.2 <sup>ab</sup>	3.05±0.14 <sup>ab</sup>	0.79±0.04 <sup>a</sup>	1.4±0.1 <sup>c</sup>	24.6±0.5 <sup>a</sup>
WA	ND	29.4±5.7 <sup>a</sup>	9.0±0.4 <sup>c</sup>	7.9±0.2 <sup>b</sup>	2.37±0.14 <sup>c</sup>	0.64±0.02 <sup>b</sup>	1.0±0.1 <sup>de</sup>	25.8±0.7 <sup>a</sup>
	NM	8.3±3.7 <sup>bc</sup>	11.0±0.4 <sup>b</sup>	9.0±0.2 <sup>a</sup>	2.99±0.12 <sup>b</sup>	0.79±0.03 <sup>a</sup>	1.2±0.1 <sup>cd</sup>	24.3±0.5 <sup>a</sup>
	NE	16.4±7.6 <sup>b</sup>	8.5±0.5 <sup>c</sup>	8.5±0.2 <sup>ab</sup>	2.43±0.11 <sup>c</sup>	0.62±0.04 <sup>b</sup>	0.7±0.1 <sup>e</sup>	23.9±0.7 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>WA; waterlogging, <sup>2)</sup>Nut; nutrient treated in deficient, moderate, and excess for ND, NM, and NE, respectively, <sup>3)</sup>RRP; root rot percentage, <sup>4)</sup>FRD; degree of fine root was scored from 0 (none) to 3 (plenty). \*Values with different letters within a column are significantly different by Duncan's Multiple Range Test ( $p < 0.05$ ).

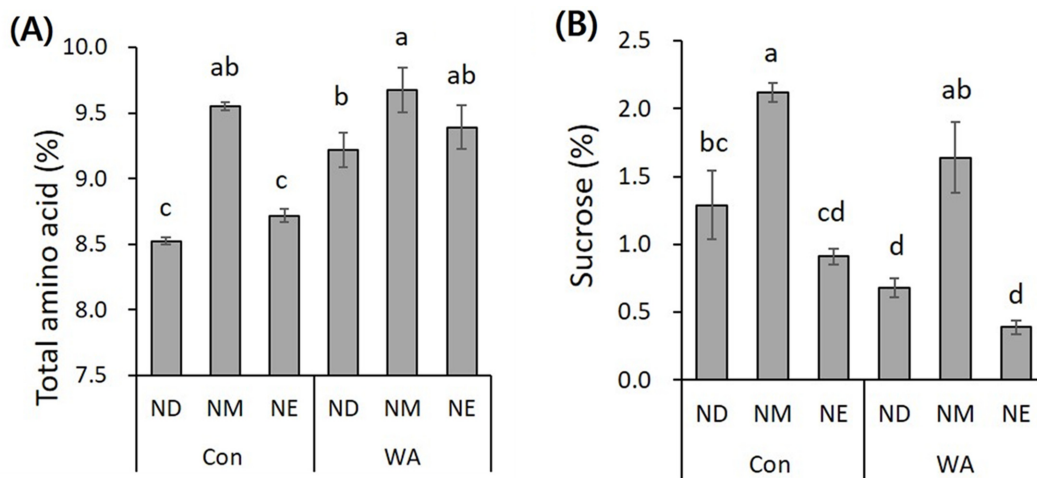


**Fig. 4. Roots of ginseng depending on the nutrient level and waterlogging.** Nutrient treated in deficient (A; ND), moderate (B; NM), and excess (C, NE). Con; control, WA; waterlogging.

**Table 6.** Effects of nutrient level and waterlogging on the amino acid composition in the ginseng roots after 14 days of drainage.

WA <sup>1)</sup>	Nut <sup>2)</sup>	Asp	Thr	Ser	Glu	Gly	Ala	Val	Iso	Leu	Tyr	Phe	Lys	His	Arg	Pro
		(mg/g dry weight)														
Con	ND	7.69 <sup>d</sup>	3.02 <sup>b</sup>	2.41 <sup>a</sup>	7.95 <sup>a</sup>	2.18 <sup>b</sup>	2.84 <sup>d</sup>	2.74 <sup>b</sup>	2.12 <sup>a</sup>	4.02 <sup>c</sup>	2.04 <sup>b</sup>	3.09 <sup>c</sup>	4.69 <sup>c</sup>	1.68 <sup>a</sup>	36.42 <sup>c</sup>	2.33 <sup>b</sup>
	NM	8.45 <sup>c</sup>	3.16 <sup>ab</sup>	2.43 <sup>a</sup>	8.52 <sup>a</sup>	2.23 <sup>ab</sup>	3.02 <sup>bc</sup>	2.91 <sup>ab</sup>	2.26 <sup>a</sup>	4.37 <sup>b</sup>	2.18 <sup>ab</sup>	3.29 <sup>a</sup>	4.87 <sup>abc</sup>	1.86 <sup>a</sup>	43.03 <sup>a</sup>	2.92 <sup>a</sup>
	NE	7.84 <sup>d</sup>	3.01 <sup>b</sup>	2.10 <sup>a</sup>	7.05 <sup>b</sup>	2.18 <sup>b</sup>	2.94 <sup>cd</sup>	2.95 <sup>ab</sup>	2.14 <sup>a</sup>	4.30 <sup>b</sup>	2.19 <sup>ab</sup>	3.26 <sup>ab</sup>	4.73 <sup>bc</sup>	1.72 <sup>a</sup>	37.92 <sup>bc</sup>	2.88 <sup>a</sup>
WA	ND	9.91 <sup>a</sup>	3.34 <sup>ab</sup>	2.70 <sup>a</sup>	8.45 <sup>a</sup>	2.32 <sup>ab</sup>	3.12 <sup>ab</sup>	3.19 <sup>a</sup>	2.34 <sup>a</sup>	4.42 <sup>ab</sup>	2.20 <sup>ab</sup>	3.10 <sup>bc</sup>	5.16 <sup>a</sup>	1.86 <sup>a</sup>	37.04 <sup>c</sup>	2.98 <sup>a</sup>
	NM	9.27 <sup>b</sup>	3.28 <sup>ab</sup>	2.54 <sup>a</sup>	8.23 <sup>a</sup>	2.32 <sup>ab</sup>	3.14 <sup>a</sup>	3.10 <sup>ab</sup>	2.22 <sup>a</sup>	4.45 <sup>ab</sup>	2.41 <sup>a</sup>	3.37 <sup>a</sup>	4.98 <sup>abc</sup>	1.84 <sup>a</sup>	42.85 <sup>a</sup>	2.73 <sup>a</sup>
	NE	9.20 <sup>b</sup>	3.37 <sup>a</sup>	2.58 <sup>a</sup>	8.22 <sup>a</sup>	2.36 <sup>a</sup>	3.19 <sup>a</sup>	3.19 <sup>a</sup>	2.31 <sup>a</sup>	4.57 <sup>a</sup>	2.47 <sup>a</sup>	3.41 <sup>a</sup>	5.07 <sup>ab</sup>	1.88 <sup>a</sup>	38.95 <sup>b</sup>	3.15 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>WA; waterlogging, <sup>2)</sup>Nut; nutrient treated in deficient, moderate, and excess for ND, NM, and NE, respectively. \*Values with different letters within a column are significantly different by Duncan's Multiple Range Test ( $p < 0.05$ ).



**Fig. 5. Effect of nutrient level and waterlogging on the (A) total amino acids and (B) sucrose content of ginseng roots.** Con; control, WA; waterlogging, ND, NM and NE; nutrient treated in deficient, moderate, and excess amounts, respectively. \*Different letters on the bars indicate significant difference between treatments based on Duncan's Multiple Range Test (DMRT,  $p < 0.05$ ).

는 42.9%로 감소하였다 (Fig. 5B). Fructose와 glucose는 검출되지 않았다.

침수 후 아미노산 함량 변화는 산소 결핍 등 침수에 대한 적응을 위해 대사작용이 변화하고 질소의 이동이 제한되어 발생하는 것으로 알려져 있으며 (Lothier *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2021), 개별 아미노산의 증감은 침수 저항성에 관련있는 대사 작용과 관련이 높을 수 있다 (Li *et al.*, 2021). 또한 식물이 침수되면 새로운 단백질 합성과 ATP 생성을 위해 sucrose를 사용하기 때문에 감소하며, 여러 스트레스 조건에서 항산화 기능에 관여한다 (Couée *et al.*, 2006; Qi *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2021). 그러므로 적정구의 아미노산의 함량과 sucrose의 함량이 높았던 것으로 인해 침수 피해가 가장 적게 발생하였을 것으로 보인다. 양분양이 아미노산과 sucrose 함량에 영향을 주는 메커니즘을 이해하는 것은 인삼의 침수 저항성을 이해하는데 도움이 될 것으로 생각된다.

7. 양분수준에 따른 침수 후 사포닌 함량 변화

대조구의 지상부 총사포닌 함량은 양분 처리량에 비례하여 과다구 > 적정구 > 부족구 순으로 높았다. 성분별로는 Rf는 과

다구가 다른 처리구보다 2 배 이상 높았으며, Rb1, Rc, Rb2는 적정구에서 가장 높았다. 그러나 Rh1은 적정구에서 가장 낮았다 (Table 7).

침수 처리구의 지상부 총사포닌 함량은 부족구에서 약간 증가하였으나 적정구와 과다구는 감소하여 과다구 > 부족구 > 적정구 순으로 높았다. 성분별로는 Rb1, Rc, Rb2가 모든 처리구에서 감소하였으며, Rf와 Rb3는 침수에 의해 오히려 증가하였다. Rf는 적정구와 부족구에서 증가가 컸고 Rb3는 과다구에서 증가폭이 컸다. Rd는 적정구에서 감소하였지만 부족구와 과다구에서는 증가하였으며, Rg2 역시 적정구에서 증가폭이 컸다. 적정구의 Panaxadiol (PD)/Panaxatriol (PT) 비율은 침수 후에 감소하였지만, 과다구의 PD/PT비는 증가하였다 (Table 7).

대조구의 지하부 총사포닌 함량은 양분 처리량에 반비례하여 부족구 > 적정구 > 과다구 순이었다. 각 성분별로 비교하였을 때 과다구의 Rf와 Rd는 적정구보다 낮았다 (Table 8).

침수 처리구의 지하부 총사포닌 함량은 처리간 큰 차이는 없었으나 부족구와 적정구는 증가한 반면 과다구에서는 감소하였다. 성분별로는 모든 처리구의 Re와 Rg2는 침수에 의해

Table 7. Effects of nutrient level and waterlogging on saponin content in the shoots of ginseng.

WA <sup>1)</sup>	Nut <sup>2)</sup>	Total	Panaxatriol (PT)					Panaxadiol (PD)					PD/PT
			Re	Rg1	Rf	Rh1	Rg2	Rb1	Rc	Rb2	Rb3	Rd	
(mg/g dry weight)													
Control	ND	63.37 <sup>d</sup>	26.56 <sup>b</sup>	16.69 <sup>c</sup>	0.57 <sup>d</sup>	0.26 <sup>b</sup>	0.86 <sup>bc</sup>	1.82 <sup>b</sup>	2.42 <sup>c</sup>	2.67 <sup>c</sup>	4.22 <sup>d</sup>	7.30 <sup>d</sup>	0.41 <sup>d</sup>
	NM	67.91 <sup>ab</sup>	25.97 <sup>b</sup>	16.31 <sup>c</sup>	0.37 <sup>e</sup>	0.15 <sup>d</sup>	0.78 <sup>c</sup>	2.60 <sup>a</sup>	3.87 <sup>a</sup>	4.35 <sup>a</sup>	4.04 <sup>d</sup>	9.45 <sup>b</sup>	0.56 <sup>a</sup>
	NE	68.86 <sup>a</sup>	26.97 <sup>b</sup>	18.13 <sup>b</sup>	1.39 <sup>b</sup>	0.21 <sup>c</sup>	0.90 <sup>b</sup>	0.91 <sup>d</sup>	2.81 <sup>b</sup>	3.14 <sup>b</sup>	4.77 <sup>c</sup>	9.62 <sup>b</sup>	0.45 <sup>c</sup>
WA	ND	64.62 <sup>cd</sup>	23.39 <sup>c</sup>	19.13 <sup>a</sup>	1.17 <sup>c</sup>	0.22 <sup>c</sup>	0.79 <sup>c</sup>	1.01 <sup>d</sup>	2.27 <sup>cd</sup>	2.51 <sup>c</sup>	5.43 <sup>b</sup>	8.70 <sup>c</sup>	0.45 <sup>c</sup>
	NM	63.19 <sup>d</sup>	28.40 <sup>a</sup>	12.76 <sup>e</sup>	1.44 <sup>ab</sup>	0.34 <sup>a</sup>	1.17 <sup>a</sup>	1.23 <sup>c</sup>	2.38 <sup>c</sup>	2.57 <sup>c</sup>	5.35 <sup>b</sup>	7.55 <sup>d</sup>	0.43 <sup>c</sup>
	NE	65.86 <sup>bc</sup>	26.98 <sup>b</sup>	13.80 <sup>d</sup>	1.53 <sup>a</sup>	0.23 <sup>c</sup>	1.11 <sup>a</sup>	0.73 <sup>e</sup>	2.18 <sup>d</sup>	2.48 <sup>c</sup>	6.80 <sup>a</sup>	10.03 <sup>a</sup>	0.51 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>WA; waterlogging, <sup>2)</sup>Nut; nutrient treated in deficient, moderate, and excess for ND, NM, and NE, respectively. \*Values with different letters within a column are significantly different by Duncan's Multiple Range Test ( $p < 0.05$ ).

Table 8. Effects of nutrient level and waterlogging on saponin content in the roots of ginseng.

WA <sup>1)</sup>	Nut <sup>2)</sup>	Total	Panaxatriol (PT)					Panaxadiol (PD)					PD/PT
			Re	Rg1	Rf	Rh1	Rg2	Rb1	Rc	Rb2	Rb3	Rd	
(mg/g dry weight)													
Control	ND	8.36 <sup>a</sup>	2.44 <sup>bc</sup>	1.06 <sup>a</sup>	0.54 <sup>a</sup>	0.02 <sup>b</sup>	0.38 <sup>abc</sup>	1.30 <sup>a</sup>	0.97 <sup>ab</sup>	0.74 <sup>b</sup>	0.14 <sup>ab</sup>	0.77 <sup>ab</sup>	8.85 <sup>a</sup>
	NM	7.98 <sup>ab</sup>	2.41 <sup>bc</sup>	0.93 <sup>b</sup>	0.48 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	0.37 <sup>bc</sup>	1.12 <sup>b</sup>	0.96 <sup>ab</sup>	0.75 <sup>b</sup>	0.15 <sup>ab</sup>	0.80 <sup>a</sup>	9.00 <sup>a</sup>
	NE	7.27 <sup>bc</sup>	2.16 <sup>c</sup>	0.99 <sup>ab</sup>	0.39 <sup>b</sup>	0.02 <sup>b</sup>	0.31 <sup>d</sup>	1.04 <sup>b</sup>	0.86 <sup>bc</sup>	0.70 <sup>bc</sup>	0.13 <sup>bc</sup>	0.68 <sup>bc</sup>	8.86 <sup>a</sup>
WA	ND	8.62 <sup>a</sup>	2.58 <sup>ab</sup>	0.95 <sup>b</sup>	0.52 <sup>a</sup>	0.02 <sup>b</sup>	0.43 <sup>a</sup>	1.32 <sup>a</sup>	1.07 <sup>a</sup>	0.92 <sup>a</sup>	0.16 <sup>a</sup>	0.67 <sup>bc</sup>	9.16 <sup>a</sup>
	NM	8.49 <sup>a</sup>	2.86 <sup>a</sup>	0.91 <sup>b</sup>	0.49 <sup>a</sup>	0.02 <sup>b</sup>	0.41 <sup>ab</sup>	1.21 <sup>ab</sup>	1.01 <sup>a</sup>	0.80 <sup>b</sup>	0.14 <sup>ab</sup>	0.64 <sup>c</sup>	8.12 <sup>a</sup>
	NE	7.00 <sup>c</sup>	2.44 <sup>bc</sup>	0.76 <sup>c</sup>	0.34 <sup>b</sup>	0.02 <sup>ab</sup>	0.34 <sup>cd</sup>	1.06 <sup>b</sup>	0.79 <sup>c</sup>	0.62 <sup>c</sup>	0.12 <sup>c</sup>	0.52 <sup>d</sup>	8.02 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>WA; waterlogging, <sup>2)</sup>Nut; nutrient treated in deficient, moderate, and excess for ND, NM, and NE, respectively. \*Values with different letters within a column are significantly different by Duncan's Multiple Range Test ( $p < 0.05$ ).



증가하였고, Rd는 약간 감소하는 경향을 보였다. PD/PT 비율은 적정구와 과다구가 침수에 따라 감소하는 경향이었지만 큰 변화는 없었다 (Table 8).

Li와 Mazza (1999)에 따르면 사포닌 함량은 인삼의 무기양분 함량과 유의한 상관관계가 있는데 지상부가 지하부보다 상관관계가 더 크다고 하였으며, Eo 등 (2018)의 연구에서 무기양분 처리에 따른 지하부의 사포닌 함량을 조사하였으나 유의한 차이는 없었다. 본 연구에서는 차이가 크지는 않지만 지상부와 지하부 모두 양분 처리량에 대해 사포닌 함량이 정비례하거나 반비례한 것으로 조사되었다. 사포닌은 이차 대사산물로서 침수에 따른 즉각적인 변화는 없는 것으로 보이지만, 일부 성분들에 변동이 있는 것으로 보아 조사 시점이 늦춰질 경우 침수에 따른 영향이 좀 더 드러날 수 있을 것으로 생각된다.

양분 과다구는 침수 후 지상부 생육이 적정구보다 양호하여 유리하였지만, 지하부 생육은 불리한 결과를 보였다. 침수 후 지상부 상태가 양호한 것은 장기적으로 지하부 비대에 중요하므로 지상부의 침수 저항성 증가도 중요하다. 침수 피해 완화에 많은 영향을 주는 질소의 함량이 과다구의 지상부에서 높았으므로 이들의 인과 관계를 밝히기 위해 지상부에 국소적으로 질소 함량을 높였을 때 침수에 대한 저항성이 증가하는지 연구해 볼 필요가 있다 (Flórez-Velasco *et al.*, 2015).

이상의 결과를 종합하면 침수에 따른 뿌리썩음 증상이 적정구에서 가장 적게 발생하였으며, 지상부의 생육은 과다구가 유리하였지만 지하부의 생육 특성 및 스트레스 저항성과 연관된 아미노산 함량 및 sucrose 함량도 침수 전·후 모두 적정구에서 가장 높았다.

인삼은 타 작물에 비해 토양 양분 요구도가 낮아 과다 조건에서 생육저하 및 생리장해를 입을 가능성이 높다. 본 연구는 인삼에서 토양의 양분 함량을 높였을 때 생육 저해가 있을 수 있지만 타 작물에서와 같이 침수 피해를 경감시킬 수 있는지 조사하였다 (Wang *et al.*, 2013; Ylivainio *et al.*, 2017; Manik *et al.*, 2019; Men *et al.*, 2020). 그러나 실험 결과 지상부는 토양의 양분 함량이 높았을 때 침수 피해를 경감시킬 수 있었지만, 지하부는 적정 조건에서 더 양호하였다. 또한 토양 양분이 부족한 경우가 양분이 과다한 경우보다 침수 피해가 클 수 있음을 보여주었다. 결론적으로 인삼은 약재로서 지하부를 이용하므로 토양 양분을 적정 조건으로 유지하는 것이 인삼 생육을 양호하게 할 뿐만 아니라 침수 피해를 경감시킬 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01431601)과 2022년도 농촌진흥청 국립원예특작과학원 전문연구원 과정 지원 사업에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

- Bentacourt-Osorio J, Sánchez-Canro D and Restrepo-Díaz H.** (2016). Effect of nitrogen nutritional statuses and waterlogging conditions on growth parameters, nitrogen use efficiency and chlorophyll fluorescence in tamarillo seedlings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 44:375-381.
- Couée I, Sulmon C, Gouesbet G and Amrani AE.** (2006). Involvement of soluble sugars in reactive oxygen species balance and responses to oxidative stress in plants. *Journal of Experimental Botany*. 57:449-459.
- Drew MC and Sisworo EJ.** (1979). The development of waterlogging damage in young barley plants in relation to plant nutrient status and changes in soil properties. *New Phytologist*. 82:301-314.
- Eo J, Mo HS and Park KC.** (2018). Abiotic factors influencing growth and ginsenoside content of *Panax ginseng* roots. *Horticultural Science and Technology*. 36:681-690.
- Fillery IRP and McInnes KJ.** (1992). Components of the fertiliser nitrogen balance for wheat production on duplex soils. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 32:887-899.
- Flórez-Velasco N, Balaguera-López HE and Restrepo-Díaz H.** (2015). Effects of foliar urea application on lulo(*Solanum quitoense* cv.septentrionale) plants grown under different waterlogging and nitrogen conditions. *Scientia Horticulturae*. 186:154-162.
- Gu JO and Kuk YI.** (1996). Effects of depth and duration of flooding on growth and yield at different growth stage in pepper(*Capsicum annuum* L.). *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 15:325-334.
- Kang SB, Lee IB, Park JM and Lim TJ.** (2010). Effect of waterlogging conditions on the growth, root activities and nutrient content of 'Campbell Early' grapevine. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*. 28:172-179.
- Kim JU, Lee JU, 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.
- Lee SW, Park KC, Lee SH, Park JM, Jang IB and Kim KH.** (2013). Soil chemical property and leaf mineral nutrient of ginseng cultivated in paddy field occurring leaf discoloration. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 21:289-295.
- Li TSC and Mazza G.** (1999). Correlations between leaf and soil mineral concentrations and ginsenoside contents in American ginseng. *HortScience*. 34:85-87.
- Li Z, Bai D, Zhong Y, Abid M, Qi X, Hu C and Fang J.** (2021). Physiological responses of two contrasting kiwifruit (*Actinidia* spp.) rootstocks against waterlogging stress. *Plants*. 10:2586. <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/12/2586> (cited by 2022 Sep 5).
- Lothier J, Diab H, Cukier C, Limami AM and Tcherkez G.** (2020). Metabolic responses to waterlogging differ between roots and shoots and reflect phloem transport alteration in *Medicago truncatula*. *Plants*. 9:1373. <https://www.mdpi.com/2223-7747/9/10/1373> (cited by 2022 Sep 5).
- Manik SMN, Pengilly G, Dean G, Field B, Shabala S and Zhou M.** (2019). Soil and crop management practices to minimize the impact of waterlogging on crop productivity.

- Frontiers in Plant Science. 10:140. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00140/full> (cited by 2022 Sep 1).
- Men S, Chen H, Chen S, Zheng S, Shen X, Wang C, Yang Z and Liu D.** (2020). Effects of supplemental nitrogen application on physiological characteristics, dry matter and nitrogen accumulation of winter rapeseed(*Brassica napus* L.) under waterlogging stress. Scientific Reports. 10:10201. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-67260-7> (cited by 2022 Sep 5).
- Milroy SP, Bange MP and Thongbai P.** (2009). Cotton leaf nutrient concentrations in response to waterlogging under field conditions. Field Crops Research. 113:246-255.
- Ministry of Food and Drug Safety(MFDS).** (2022). General sugar analysis methods. Ministry of Food and Drug Safety. Cheongju, Korea. [https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01\\_03.jsp?idx=11014](https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_03.jsp?idx=11014) (cited by 2022 Sep 1).
- Nam KY.** (2002). Clinical applications and efficacy of Korean ginseng(*Panax ginseng* C. A. Meyer). Journal of Ginseng Research. 26:111-131.
- National institute of Agricultural Science and Technology (NIAST)** (2000) Methods of soil chemical analysis. Rural Development Administration, Suwon, Korea. p.108-149.
- Pan J, Sharif R, Xu X and Chen X.** (2021). Mechanisms of waterlogging tolerance in plants: Research progress and prospects. Frontiers in Plant Science. 11:627331. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.627331/full> (cited by 2022 Sep 5).
- Qi X, Li Q, Shen J, Qian C, Xu X, Xu Q and Chen X.** (2020). Sugar enhances waterlogging-induced adventitious root formation in cucumber by promoting auxin transport and signalling. Plant Cell and Environment. 43:545-1557.
- Rural Development Administration(RDA).** (2014). Ginseng. Rural Development Administration. Jeonju, Korea. p.166-171.
- Schat H.** (1984). A comparative ecophysiological study on the effects of waterlogging and submergence on dune slack plants: Growth, survival and mineral nutrition in sand culture experiments. Oecologia. 62:279-286.
- Suh SJ, Moon JW, Jang IB, Kim YC, Kim DH and Yu J.** (2021). Waterlogging duration and depth affect growth and photosynthetic properties of ginseng. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 29:409-417.
- Tian G, Qi D, Zhu J and Xu Y.** (2021). Effects of nitrogen fertilizer rates and waterlogging on leaf physiological characteristics and grain yield of maize. Archives of Agronomy and Soil Science. 67:863-875.
- Wang M, Zheng Q, Shen Q and Guo S.** (2013). The critical role of potassium in plant stress response. International Journal of Molecular Science. 14:7370-7390. <https://www.mdpi.com/1422-0067/14/4/7370> (cited by 2022 sep 5).
- Ylivainio K, Jauhiainen L, Uusitalo R and Turtola E.** (2017). Waterlogging severely retards P use efficiency of spring barley(*Hordeum vulgare*). Journal of Agronomy and Crop Science. 204:74-85.
- Yu J, Suh SJ, Jang IB, Jang IB, Moon JW, Kwon KB and Lee SW.** (2018). Influence of sodium concentrations on growth, physiological disorder symptoms, and bed soil chemical properties of 2-year-old ginseng. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 26:240-247.