

Research Article

습해 스트레스가 이탈리아 라이그라스의 생리 반응과 성장에 미치는 영향

김민준¹, 민창우¹, 윤일규¹, 정종성², 이병현^{1*}

¹경상대학교 응용생명과학부(BK21), 농업생명과학연구원

²국립축산과학원 초지사료과

Effects of Waterlogging Stress on Physiological Response and Growth of Italian Ryegrass (*Lolium multiflorum* L.)

Min-Jun Kim¹, Chang-Woo Min¹, Il-Kyu Yoon¹, Jeong Sung Jung² and Byung-Hyun Lee^{1*}

¹Division of Applied Life Science (BK21), IALS, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea

²Grassland and Forage Division, National Institute of Animal Science, RDA, Chonan 31000, Republic of Korea

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effect of waterlogging stress on the physiological response and growth characteristics of the five Italian ryegrass varieties. For all varieties, the germination rate of seed decreased by 10-15% as the waterlogging period increased, but the waterlogging stress treatment after the early seedling stage increased the growth of shoot and root length. Photosynthetic activity (Fv/Fm) according to waterlogging stress treatment decreased in all variety, and Florida 80 showed the least decrease with 1.5%. Waterlogging stress treatment was found to reduce the accumulation of reactive oxygen species (malondialdehyde, MDA) and the activities of antioxidant enzymes. These results suggest that other mechanisms may be involved in the defense mechanism of Italian ryegrass against waterlogging stress, such as promoting root growth to escape from waterlogging stress, in addition to the antioxidant enzyme system.

(Key words: Antioxidant Enzyme, Italian ryegrass, Seed germination, Waterlogging)

I. 서론

이탈리안 라이그라스(*Lolium multiflorum* L.)는 사료가치가 높고 가축의 기호성이 좋은 1년생 또는 월년생 사료작물로서, 국내의 경우 최근 재배되고 있는 사료작물 생산량의 80% 이상을 차지하는 대표적인 사료작물이다(Kwon et al., 2022). 특히 이탈리아 라이그라스는 다른 작물에 비하여 비교적 내습성이 좋아 논에서 재배하기 쉬운 특성 때문에 우리나라에서는 주로 논에서 벼 수확 후 답리작으로 많이 재배되고 있다(Kim et al., 2007; Kim et al., 2016). 그러나 추위에 견디는 힘이 약해 중부지역 이북에서 재배하기에는 어려움이 있어 주로 남부지역을 위주로 재배되어 오던 동계 사료작물 중 하나이다. 한편 최근 논에서 이탈리아 라이그라스의 안정적으로 생산할 목적으로 조기파종을 통한 월동 전 충분한 생육에 의한 동해 등의 월동피해 또는 건조피해를 방지하고, 농가에 있어서 벼 수확 후 일손부족 등으로 인한 적기에 파종작업이 불가능해지는 문제를 해결하기 위하여 논에서 벼를 수확하기 전 벼가 서 있는 상태에서 종자를 먼저 뿌리는 파종방

법인 입모중 파종방법에 의해 많이 재배되고 있는 실정이다.

최근 전 지구적인 기후변화에 따른 이상기상의 영향으로 국내에서도 동계 사료작물의 가을 파종기에 전후에 잦은 강우가 발생하여 조사료의 안정적인 생산과 공급에 어려움을 겪고 있다(Kim et al., 2016). 이탈리아 라이그라스는 비교적 다른 맥류 사료작물 보다는 습해에 강한 것으로 알려져 있으나, 지나치게 비가 많이 내리는 이상기상 조건 하에서는 연약하게 자라고, 이는 월동에 영향을 끼치는 것으로 보고된 바 있다(Kim et al., 2015; Kim et al., 2016). 작물생육에 있어서 습해는 극심한 강수량, 잦은 강수일수 또는 불량한 배수 등으로 인해 재배토양에 있어서 최대용수량 이상의 과습상태가 지속되면 습해가 발생한다고 알려져 있다(Park et al., 1999; Olgun et al., 2008; Zhou et al., 2020). 습해는 토양의 공극을 포화시키게 되는데 수중환경에서는 산소(O₂)의 확산계수가 대기에서보다 10,000배 이상 낮아 대기와 토양 사이 이산화탄소(CO₂)와 산소(O₂)의 교환이 제한되어 이는 곧 작물에 있어서 종자발아와 성장에 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다(Drew et al., 1980; Denis et al., 2000).

*Corresponding author: Byung-Hyun Lee, IALS, Division of Applied Life Science (BK21), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea.
Tel: +82-55-772-1882, E-mail: hyun@gnu.ac.kr

식물에 있어서 종자의 발아과정은 산소를 포함한 여러가지 식물생장호르몬과 다양한 환경요인에 의해 조절되는 반응과정이다 (Zhou et al., 2020). 종자 단계에서 침수로 인한 습해 환경에 계속적으로 노출된 종자는 수분을 지속적으로 흡수하게 되는데, 이때 습해에 민감한 품종의 경우 과도하게 빠르게 흡수된 수분에 의해 종자 내의 용질들이 누출됨으로서 파종된 종자 발아율이 저하되는 것으로 보고된 바 있다(Zaman et al., 2018). 이와 같은 파종 후 발아단계에서 종자발아의 실패는 유식물체의 활력을 저하시켜 궁극적으로 작물의 정착에 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Arduini et al., 2016).

본 연구에서는 우리나라에서 답리작으로 가장 많이 재배되고 있는 이탈리아 라이그라스에 있어서 종자 파종단계 및 파종기 이후 생육초기에 있어서 토양 내 과습조건이 식물체의 생리적인 반응과 생육 특성에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험 품종 및 습해처리

본 연구에 사용된 이탈리아 라이그라스는 Florida 80, Kowinearly, Winter-hawk, New-dawn, Andes 품종을 사용하였다. 실험에 사용할 종자의 소독은 70% ethanol에 30초간 침지 및 교반한 후, 6% sodium hypochlorite로 30분간 침지 및 교반 후, 멸균수로 5회 이상 세정하였다(Lee et al., 2014).

습해에 따른 품종별 발아율 비교 시험은 소독된 종자를 Petri dish(100 mm × 20 mm)에 2점의 filter paper 위에 100개씩의 종자를 각각 파종하였다. 파종된 종자 위에 거즈를 덮은 다음 10 mm의 수위를 유지하여 종자가 물에 완전히 잠겨있는 상태로 침수처리 하였다. 대조구는 종자 표면이 건조되지 않는 상태의 수분을 유지하였으며, 침수처리 기간은 3, 6, 9, 12 및 15일간 각각 처리하였으며, 모든 처리구는 각각 3반복으로 진행하였다. 침수 처리한 종자의 발아 여부는 Liu et al. (2017a)의 방법에 따라 종자로부터 유근이 출현한 종자를 발아 종자로 간주하였다.

유식물 단계에서 습해처리에 따른 반응을 위해 원예용 상토와 모래를 1:1로 혼합한 토양을 화분에 채운 다음 종자를 파종하여 22±1°C, 14/10h (light/dark), 450 μmol·m⁻²·s⁻¹ PPFD 조건에서 재배하였다. 파종 후 10일째 유식물체를 습해처리하였다. 습해처리하는 화분을 40 L 플라스틱 상자에 물을 토양표면 위 1 cm 높이로 수위를 유지시켜 21일간 처리하였다. 대조구의 경우 필요에 따라 관수하였고 습해 처리는 매일 수위를 유지하였다.

2. 포장 과습처리 및 수확

포장에서 습해에 따른 품종별 수확량 비교 시험은 경상국립대

학교 부속동물사육장(128°14'E, 35°20'N)에서 실시하였다. 1/2000a 와그너 포트에 시험포의 top soil을 채운 다음 30 kg/ha의 종자를 파종하였다. 파종 후 14일째부터 7, 14, 21, 28, 35 및 42일간 각각 습해처리 하였으며, 출수기에 화분 전체를 일괄 수확하였다.

3. 엽록소 함량, 엽록소 형광 측정

엽록소 함량의 경우 chlorophyll content meter (Hansatech Instrument Ltd, UK)를 이용하여 두번째로 어린 완전히 전개된 잎의 1/3, 2/3, 1/2 지점을 각각 측정 후 평균값으로 계산하였다 (Mui et al., 2021). 엽록소 형광(Fv/Fm)은 두 번째로 완전히 전개된 잎을 Dark adaptation clip으로 10분간 암상태로 유지한 후 Handy PEA (Hansatech Instrument Ltd, UK)를 이용하여 측정하였다.

4. MDA 및 항산화 효소 활성 측정

Malondialdehyde (MDA)은 Yoo et al. (2021)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 액체 질소로 100 mg의 샘플을 파쇄하여 500 μL의 1% (w/v) trichloroacetic acid를 이용해 추출한 다음 최종적으로 상층액을 1.5 mL 20% (w/v) TCA와 0.5% (w/v) thiobarbituric acid에 반응시킨 다음 450, 532 및 600 nm에서 흡광도를 조사하였다.

항산화 효소 측정을 위해 액체 질소로 100 mg의 샘플을 파쇄하여 1 mL 50 mM potassium phosphate buffer (pH 7.0)로 추출하고 단백질 정량은 Bradford (1976)의 방법을 이용하였다. Superoxide dismutase (SOD) 활성은 Beauchamp와 Fridovich (1971)의 방법을, peroxidase (POD) 활성은 Maehly와 Chance (1955)의 방법에 준하여 측정하였다.

5. 통계 분석

통계분석은 IBM SPSS statistics (IBM SPSS Statistics for windows, Version 25.0. Armonk, NY, USA)를 이용하여 독립표본 T검정을 시행하였고, 5% 수준에서 유의성 검정을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

이탈리아 라이그라스 5품종에 있어서 파종 후 15일 동안 침수처리 후의 발아율의 변화를 확인한 결과 각각의 침수기간에서 모든 품종이 대조구에 비해 발아율이 감소하였다. 침수처리 후 6일 차 9일차에 가장 큰 발아율 저하가 관찰되었으나, 이후 침수 기간에 따른 품종간의 차이는 감소하여 15일째에는 대조구 대비 각각 10-15% 낮은 발아율을 보였다. 이와 같은 결과는 툴페스큐와 켄

터키블루그라스를 이용한 습해처리 했을 때, 처리 8일째에 대조구 대비 가장 낮은 발아율을 나타낸 것과 유사한 결과이다(Liu et al., 2017a).

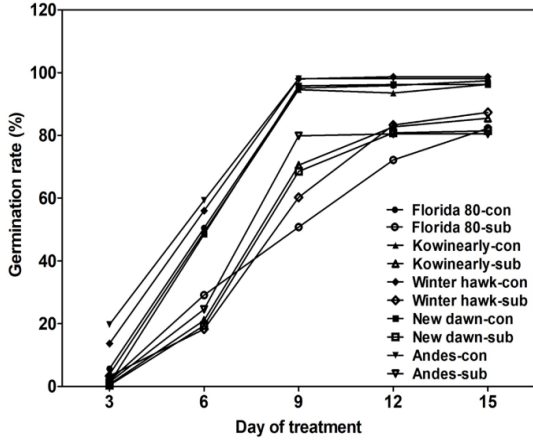


Fig. 1. Effect of waterlogging treatment on the germination of the Italian ryegrass varieties.

파종 후 10일령된 이탈리아 라이그라스 유묘를 21일간 습해처리한 식물체 생장의 변화는 Fig. 2와 같이 나타났다. 습해 처리시 모든 품종에서 초장이 증가하는 경향을 보였다. 5품종 중 Florida 80과 Andes 품종이 초장에 있어서 유의적인 증가를 보였으며, 특히 Florida 80이 가장 큰 증가를 보였다. 또한 뿌리 생장의 경우 모든 품종에서 유의적으로 습해처리에 의해 길이가 증가하였으며, 그중 Florida 80이 가장 큰 증가를 나타내었다. 이와 같은 결과는 모든 이탈리아 라이그라스의 품종들은 습해 스트레스에 대해 내성을 가지고 있음을 나타내며, 특히 Florida 80이 가장 높은 내성을 지니고 있을 것으로 추측된다.

지금까지 습해 스트레스에 따른 지상부 또는 지하부의 성장반응은 페레니얼 라이그라스(Dunbabin et al., 1997)와 밀(Thomson et al., 1992; Huang et al., 1994; Malik et al., 2001) 등과 같이 대부분의 작물에서 감소되는 것으로 알려져 있다. 반면 동일한 페레니얼 라이그라스의 경우에도 습해 스트레스에 대한 내성을 보이는 품종의 경우 잎과 뿌리의 생장이 증가한 결과도 보고된 바 있다(Liu and Jiang, 2015). 이탈리아 라이그라스의 경우에도 품종에서 따라 습해 스트레스에 대해 초장이 증가한 결과가 보고된

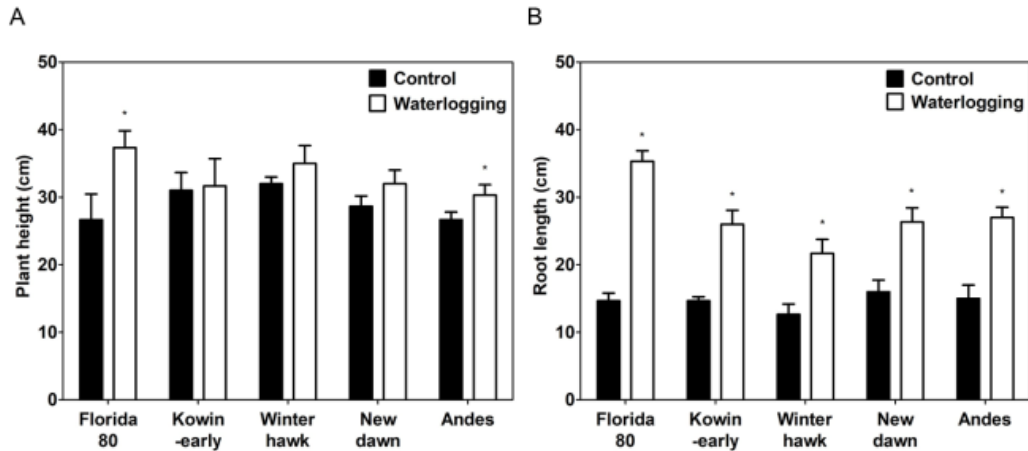


Fig. 2. Effects of waterlogging treatment on growth of the plant height (A) and root length (B) of the Italian ryegrass varieties.

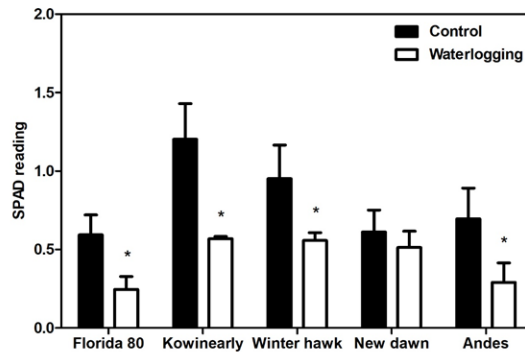


Fig. 3. Effects of waterlogging treatment on chlorophyll content of the Italian ryegrass varieties.

바 있다(Kato et al., 2014).

이탈리안 라이그라스 5품종에 있어서 습해처리에 따른 엽록소 함량을 엽색도(SPAD)를 이용하여 분석하였다. 엽색도는 대부분 품종에서 습해처리에 의해 유의적으로 감소하였다. New dawn이 대조구 대비 가장 적게 감소하였으며, 나머지 4품종의 경우 대조구 대비 40-55% 정도 감소하였다.

이탈리안 라이그라스 5품종에 있어서 습해처리에 따른 광화학계II의 활성변화 정도를 조사하기 위해 엽록소 형광반응(Fv/Fm)을 비교해 본 결과 Fig. 4와 같이 나타났다. 습해 스트레스 처리는 모든 품종의 이탈리안 라이그라스의 광합성 활성을 감소시켰다. 한편 Florida 80 품종의 경우 습해 처리에 의해 1.5% 정도 감소하였으나, 나머지 4품종의 경우 5% 이상의 감소를 나타냈다. 이러한 결과는 대부분의 이탈리안 라이그라스 품종이 습해 스트레스에 대해 높은 내성을 지니고 있음을 의미하며, 그 중에서 Florida 80이 다른 품종에 비해 더 높은 내성을 가지고 있음을 나타낸다.

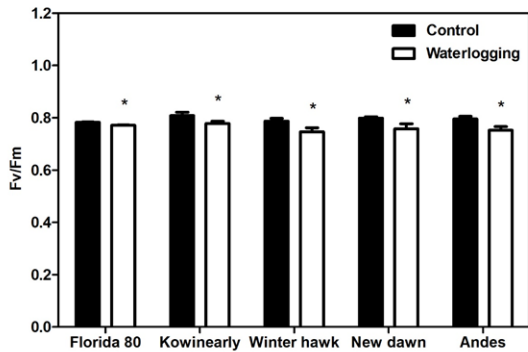


Fig. 4. Effects of waterlogging treatment on chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) in the Italian ryegrass varieties.

이탈리안 라이그라스 5품종에 있어서 습해처리에 따른 지상부와 뿌리의 malondialdehyde (MDA)의 변화를 관찰한 결과 Fig. 5와 같이 나타났다. 습해 스트레스 처리에 의해 이탈리안 라이그라스 잎에 있어서 MDA의 함량은 모든 품종에서 유의적으로 감소하였으며 Andes 품종에서 가장 적은 감소를 보였다. 뿌리에 있어서 습해 스트레스 처리도 모든 품종에서 감소하는 경향을 나타냈다. 이와 같은 결과는 이탈리안 라이그라스의 경우 습해 스트레스 처리가 활성산소를 발생시키는 정도가 낮거나, 활성산소를 제거하는 기작이 잘 발달되어 있을 가능성을 암시한다.

이탈리안 라이그라스 5품종에 있어서 습해처리에 따른 지상부와 뿌리의 항산화 효소 superoxide dismutase (SOD)와 peroxidase (POD) 활성의 변화를 조사한 결과 Fig. 6과 같이 나타났다. 이탈리안 라이그라스의 경우 습해 스트레스 처리가 잎의 경우 SOD의 활성이 모든 품종에서 유의적으로 감소하였으나, 뿌리에서는 유의적인 차이는 관찰되지 않았다. POD의 활성의 경우 잎에서는 모든 품종에서 유의적으로 감소하였으나, 뿌리의 경우 New dawn, Andes 및 Florida 80의 경우 유의적으로 감소하였으나, Winter hawk와 Kowinearly의 경우 각각 차이가 없거나 다소 증가하였다. Liu et al. (2017b)과 Puyang et al. (2015)에 의하면 화분과 목초인 페레니얼 라이그라스와 켄터키블루그라스의 경우에도 습해 스트레스에 의해 SOD와 POD가 각각 감소하는 유사한 결과를 보고하였다. 이러한 결과는 이탈리안 라이그라스가 습해 스트레스를 방어하는 기작이 항산화 효소가 아닌 다른 기작을 통해 이루어질 가능성이 있음을 시사한다.

시험포장 상태에서 재배기간 중의 습해처리가 이탈리안 라이그라스 5품종의 수확시기인 출수기때의 건물 수량에 미치는 영향을 조사한 결과 Fig. 7과 같이 나타났다. 시험포장 상태에서 습해 처리는 Florida 80의 경우 습해 처리 기간이 길어질수록 수확기 건물 수량에 큰 변화는 없었으나 다소 증가하는 경향을 나타내었

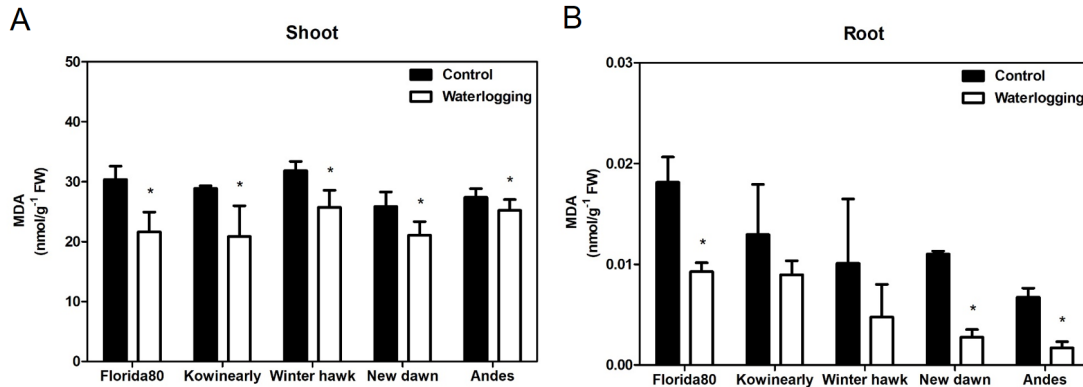


Fig. 5. Effects of waterlogging treatment on the content of MDA in the leaves (A) and roots (B) of the Italian ryegrass varieties.

으며, Kowinearly의 경우 습해처리가 길어질수록 수확기 건물 수량이 큰 차이는 없었으나 다소 감소하는 경향을 나타냈다. 이러한 결과는 포장상태에서의 습해 스트레스에 대한 내성이 Florida 80이 Kowinearly에 비해 더 높은 것을 나타낸다.

이상의 결과를 종합하면, 모든 이탈리아 라이그라스 품종은 높은 내습성을 나타내었으며, 그중 Florida 80이 다소 더 높은 내성을 가진 품종으로 판단된다. 이탈리아 라이그라스는 종자발아 단계에 있어서 3일 이상의 침수는 발아율을 현격히 저하시키나, 파종 후 정착단계인 유효기 이후의 습해 스트레스 노출은 수확기 수확량에는 거의 영향을 미치지 않을 것으로 추측된다.

IV. 결론

이탈리안 라이그라스 5품종에 대해 습해 처리 기간에 따른 발아와 식물체의 생육과 생리적인 특성에 대해서 조사하였다. 모든 품종에 있어서 습해 처리기간이 길어질수록 종자의 발아율은 저하되었으나, 유효기 이후의 습해처리는 지상부와 뿌리의 생육을 촉진 시키는 것으로 나타났다. 습해처리에 따른 광합성활성(Fv/Fm)의 변화는 모든 품종에서 감소하였으며, Florida 80이 가장 적은 감소를 나타냈다. 습해처리는 활성산소(MDA)와 항산화 효소 활성을 대부분 감소시키는 것으로 나타났다. 이러한 결과는

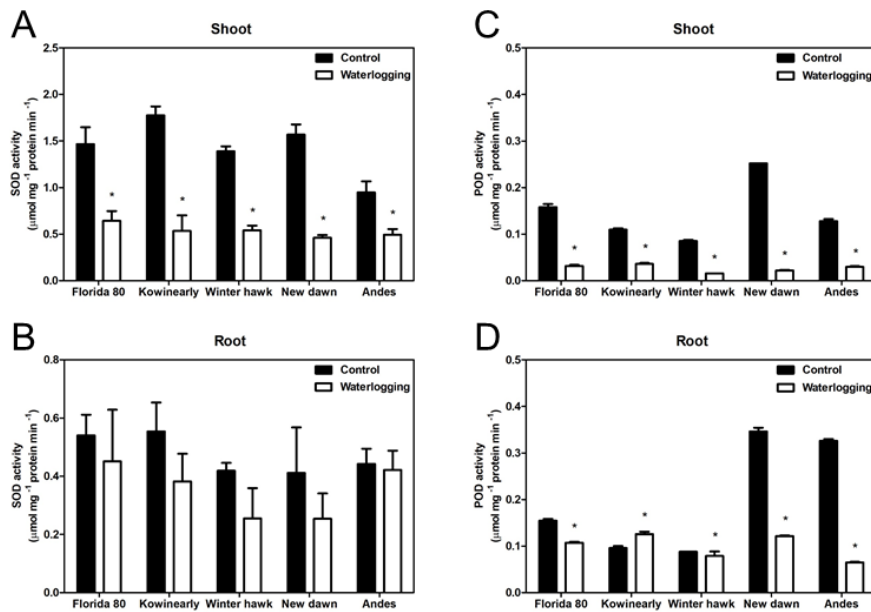


Fig. 6. Activities of antioxidant enzymes in the shoots (A and C) and roots (B and D) of Italian ryegrass varieties grown under control and waterlogging stress; superoxide dismutase (A and B; SOD) and peroxidase (C and D; POD) activities. The activities of each antioxidant enzyme were measured at 21 days after treatment.

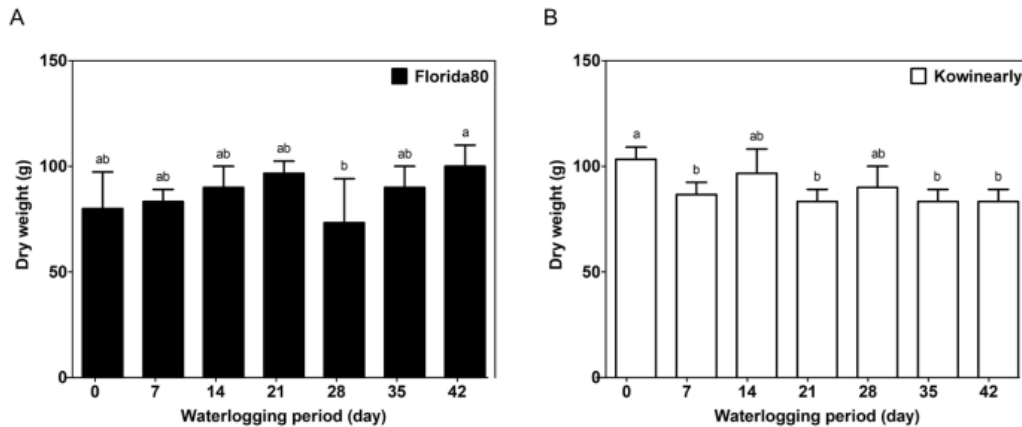


Fig. 7. Effect of waterlogging period on the yield of two Italian ryegrass cultivars. Florida 80 (A) and Kowinearly (B) were harvested at the heading stage of plants after cultivation in the field.

이탈리안 라이그라스의 습해에 대한 방어기작이 항산화 효소계 외에도 습해로부터 벗어나기 위해 뿌리의 생장을 촉진시키는 등 다른 기작이 관여했을 가능성이 있음을 시사한다.

V. 시사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업[기후변화에 따른 목초·사료작물의 생산성 실태조사 및 영향·취약성평가(1단계), PJ015079022022]의 지원에 의해 이루어진 것임.

VI. REFERENCES

- Arduini, I., Orlandi, C., Ercoli, L. and Masoni, A. 2016. Submergence sensitivity of durum wheat, bread wheat and barley at the germination stage. *Italian Journal of Agronomy*. 11(2):100-106.
- Beauchamp, C. and Fridovich, I. 1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*. 44(1):276-287.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. 72(1-2):248-254.
- Dennis, E.S., Dolferus, R., Ellis, M., Rahman, M., Wu, Y., Hoeren, F.U., Grover, A., Ismond, K.P., Good, A.G. and Peacock, W.J. 2000. Molecular strategies for improving waterlogging tolerance in plants. *Journal of Experimental Botany*. 51(342):89-97.
- Drew, M.C. and Lynch, J.M. 1980. Soil anoxia, microorganisms, and root function. *Annual Review of Phytopathology*. 18:37-66.
- Dunbabin, J.S., Hume, I.H. and Ireson, M.E. 1997. Effects of irrigation frequency and transient waterlogging on the production of a perennial ryegrass-white clover pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 37:165-171.
- Huang, B.R., Johnson, J.W., Nesmith, D.S. and Bridges, D.C. 1994. Root and shoot growth of wheat genotypes in response to hypoxia and subsequent resumption of aeration. *Crop Science*. 34:1538-1544.
- Kato, N., Hattori, I., Kiyomura, Y., Katsura, M. and Kobayashi, R. 2014. Waterlogging tolerance in different growth stages among barley, Italian ryegrass, and oat. *Nihon Danchi Chikusan Gakkaihou*. 57(2):97-104.
- Kim, M.J., Choi, G.J., Yook, W.B., Lim, Y.C., Yoon, S.H., Kim, J.G., Park H.S. and Seo, S. 2007. Effects of seeding method on the winter survival, dry matter yield and nutrient value of Italian ryegrass in paddy field. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 27(4):269-274.
- Kim, Y.J., Choi, K.C., Lee, S.H., Jung, J.S., Park, H.S., Kim, K.Y., Ji, H.C., Lee, S.H., Choi, G.J. and Kim, W.H. 2016. Growth inhibitory factors of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) after broadcasting under growing rice from 2014 to 2015. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 36(1):1-6.
- Kim, Y.J., Kim, W.H., Lee, S.H., Park, H.S., Kim, K.Y., Ji, H.C., Choi, K.C., Lee, S.H. and Jung, J.S. 2015. Crop analysis through growth survey after wintering of winter annual forages grown from 2014 to 2015. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 35(4):309-315.
- Kwon, C.H., Kim, S.C., Kim, J.K., Kim, J.D., Lee, B.H., Lee, S.S. and Han, O.K. 2022. Statistical observation survey of forage production in 2021. *The Korean Society of Grassland and Forage Science*. MAFRA, Korea.
- Lee, S.H., Choi, G.J., Lee, D.G., Mun, J.Y., Kim, K.Y., Ji, H.J., Park, H.S. and Lee, K.W. 2014. Effects of sodium chloride treatment on seed germination and seedling growth of Italian ryegrass cultivars. *Journal of The Korean Society of Grassland and Forage Science*. 34(2):108-113.
- Liu, M. and Jiang, Y. 2015. Genotypic variation in growth and metabolic responses of perennial ryegrass exposed to short-term waterlogging and submergence stress. *Plant Physiology and Biochemistry*. 95:57-64.
- Liu, M., Hulting, A. and Mallory-Smith, C. 2017a. Waterlogging influence on roughstalk bluegrass (*Poa trivialis*) and tall fescue germination. *Weed Science Society of America*. 31:732-739.
- Liu, M., Hulting, A. and Mallory-Smith, C. 2017b. Comparison of growth and physiological characteristics between roughstalk bluegrass and tall fescue in response to simulated waterlogging. *PLoS ONE*. 12(7):e0182035.
- Maehly, A.C. and Chance, B. 1955. The assay of catalases and peroxidases. *Methods of Biochemical Analysis*. 1:357-424.
- Malik, A.I., Colmer, T.D., Lambers, H. and Schortemeyer, M. 2001. Changes in physiological and morphological traits of roots and shoots of wheat in response to different depths of waterlogging. *Australian Journal of Plant Physiology*. 28:1121-1131.
- Mui, N.T., Zhou, M., Parsons, D. and Smith, R.W. 2021. Aerenchyma formation in adventitious roots of tall fescue and cocksfoot under waterlogged conditions. *Agronomy*. 11(12):2487.
- Olgun, M., Kumlay, M., Adiguzel, M.C. and Caglar, A. 2008. The effect of waterlogging in wheat (*T. aestivum* L.). *Acta Agriculturae Scandinavica Section B; Soil and Plant Science*. 58(3):193-198.

- Park, S.G., Kang, D.K., Chung, S.W. and Choi, B.S. 1999. Field survey of moisture injury in *Peucedanum japonicum* Thunberct and *Pehmannia glutinosa* Liboschitz. The Korean Society of Medicinal Crop Science. 7(3):162-166.
- Puyang, X., An, M., Xu, L., Han, L. and Zhang, X. 2015. Antioxidant responses to waterlogging stress and subsequent recovery in two Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) cultivars. Acta Physiologiae Plantarum. 37(10):197.
- Thomson, C.J., Colmer, T.D., Watkin, E.L.J. and Greenway, H. 1992. Tolerance of wheat (*Triticum aestivum* cvs Gamenya and Kite) and triticale (*Triticosecale* cv. Muir) to waterlogging. New Phytologist. 120:335-344.
- Yoo, S.J., Lee, S.A., Weon, H.Y., Song, J. and Sang, M.K. 2021. Assessment of rhizosphere microbial community structure in tomato plants after inoculation of bacillus species for inducing tolerance to salinity. Korean Journal of Environmental Agriculture. 40(1):45-49.
- Zaman, M.S.U., Malik, A.I., Erskine, W. and Kaur, P. 2018. Changes in gene expression during germination reveal pea genotypes with either “quiescence” or “escape” mechanisms of waterlogging tolerance. Plant Cell & Environment. 42:245-258.
- Zhou, W., Chen, F., Meng, Y., Chandrasekaran, U., Luo, X., Yang, W. and Shu, K. 2020. Plant waterlogging/flooding stress responses: From seed germination to maturation. Plant Physiology and Biochemistry. 148:228-236.

(Received : December 11, 2022 | Revised : December 23, 2022 | Accepted : December 26, 2022)