

Bacillus aryabhattai H19-1에 의한 양파 생육후기 건조피해 완화 효과

Bacillus aryabhattai H19-1-Mediated Mitigation of Drought Stress in Onion Bulb Development and Maturation

*Corresponding author

Tel: +82-63-238-3055

Fax: +82-63-238-3834

E-mail: mksang@korea.kr

ORCID

<https://orcid.org/0000-0001-9482-5174><https://orcid.org/0000-0001-7031-4214><https://orcid.org/0000-0001-9032-7012>

¶Current address: Future Agriculture Division, Sangju Agricultural Technology Center, Sangju 37154, Korea

Received February 23, 2023

Revised March 28, 2023

Accepted March 28, 2023

문혜정¹ · 유성제¹ · 상미경*¹

농촌진흥청 국립농업과학원 농업생물부 농업미생물과

Hye Jeong Moon¹, Sung-Je Yoo¹, and Mee Kyung Sang*¹

Division of Agricultural Microbiology, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

Climate change has occurred frequently, and it lead to a severe decrease in marketability and productivity. Onion has various functional elements related to antioxidant, antibacterial, anticancer and immune enhancement, the productivity is closely affected by climate conditions. In this study, to environmentally-friendly produce onions even though drought condition, effect of *Bacillus aryabhattai* H19-1 on the yield, marketability, and functional component of onions was evaluated in a field. When strain H19-1 was drenched, onion production and marketability significantly increased, and the contents of ascorbic acid and carotenoid of harvested onion bulbs also increased. Therefore, *B. aryabhattai* H19-1 is expected to be effective in enhancing onion productivity by mitigating drought stress.

Keywords: Carotinoid, Microorganism, Onion, Vitamin, Yields

우리나라는 안전한 고품질 농산물에 대한 수요가 증가하고 있으며, 특히 채소류 중, 양파, 마늘, 파 등의 *Allium*속의 식물들은 항산화, 항균작용, 항암, 면역 증진 및 혈행 개선 등의 생리활성이 알려져 있다. 이 중에서 양파는 단백질, 탄수화물, 당(포도당, 과당, 갈락토오스, 아라비노오스), 비타민(C, β-카로틴), 미네랄(칼슘, 철, 황)과 일부 플라보노이드 및 폴리페놀 성분과 같은 높은 유효 영양소를 함유하여 상업적 가치가 높은 작물 중 하나이다(Kwon 등, 2013; Sami 등, 2021; Zhou 등, 2022).

최근 이상기후가 빈번히 발생하면서, 잦은 강우와 가뭄 등으로 인해 작물 수확량 및 품질이 떨어져 농업 생산성에 큰 피해가 발생하고 있는데, 양파는 정식기에 잦은 강우와 생육기에 가

뭄 등으로 작황이 부진하여 그 피해가 크며, 월동을 마치고 양파가 다시 자라는 시기에 서릿발 피해, 가뭄해, 습해 및 병충해 발생이 심해져 양파의 상품성과 생산량 하락이 심한 작물이다. 2017년에는 양파 생육후기에 가뭄으로 인해 생산량이 16년 대비 11.9% 감소하였으며(Statistics Korea, 2017), 2022년에는 가뭄으로 10a당 생산량이 6,770 kg으로 2021년 대비 20.7% 감소하였다(Korea Development Institute, 2022).

현대 농업에서는 지속가능한 식량 공급과 안전한 먹거리 생산을 위한 방안으로 환경 친화적인 재배기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 이러한 기술 중 식물생장촉진제의 사용이 광범위하게 적용가능한 대안으로 제시되고 있는데, 식물이 토양이나 근권에 존재하는 양분의 흡수를 증가시켜 효율성을 향상시키는 작용을 한다. 이러한 식물생장촉진제로는 미생물, 부식산, 가수분해단백질, 조류 추출물, 무기 화합물 등 다양하다(Mógor 등, 2021; Song 등 2022; Younes 등, 2021).

Research in Plant Disease

eISSN 2233-9191

www.online-rpd.org

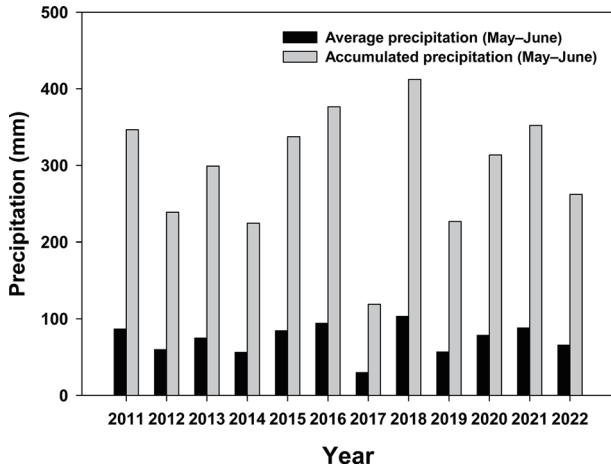


Fig. 1. Average and accumulated precipitation for two months from May to June, from 2011 to 2022 in Gochang-gun, South Korea. The precipitation data were obtained from Korea Meteorological Administration (KMA, <https://data.kma.go.kr>)

본 연구에서는 토마토 환경장해를 감소시키는 균주인 *Bacillus aryabhatai* H19-1 미생물을 양파에 적용하여, 가뭄 피해로부터 안정적으로 양파를 생산할 수 있는지를 검정하고, 양파의 수확량뿐만 아니라 규격에 따른 상품성 및 기능성분 함량에 주는 영향을 평가하였다.

시험포장은 전라북도 고창군 흥덕면에 소재한 농가포장에서 수행하였으며, 처리구 당 11.3 m²씩 3블록으로 완전임의화블록 설계하였다. 양파 종자는 2016년 9월 15일 파종하였고, 2017년 3월 31일, 4월 4일, 4월 12일에 배양한 미생물을 관주처리한 후 6월 12일 수확하였다. 대조구로는 배양배지 희석액을 사용하였다. 수확량 평가는 처리구 블록당 20식물체씩 임의추출하여 평가하였다. 바실러스 H19-1균주는 tryptic soy broth (Difco Inc., Heidelberg, Germany)에서 40시간 동안 28°C, 150 rpm에서 진탕배양한 후 배양액을 100배 희석(약 10⁷ cfu/ml)하여 식물 당 100 ml 관주처리하였다. 비교미생물로는 식물 생육증진 미생물로 보고된 *B. vallismortis* BS07M을 동일조건으로 배양하여 사용하였다(Lee 등, 2016). 미생물을 관주처리하고 수확하는 기간 동안(3월-6월) 누적 강수량은 118.9 mm, 평균 강수량은 29.7 mm로 2011년부터 2022년까지 양파 후기생육기(3월-6월) 동안 강수량 중 가장 적었다(Fig. 1). Kim 등(2017)은, 2017년 봄철(3월-5월) 전국 누적강수량은 평년대비 50%, 5월말 기준 6개월 동안 누적 강수량은 평년대비 69%로 전국 대부분에서 기상가뭄이 발생했다고 보고하였다. H19-1 관주처리 60일 후 양파를 수확한 결과, H19-1을 관주처리한 경우 12.8±2.4 kg/m² 수확하였고, 대조구에서는 10.1±2.0 kg/m²를 수확하여, 단위 면적당 수확량은 H19-1 처리에 의해 26.7% 증가하였다(Fig. 2). 수확한

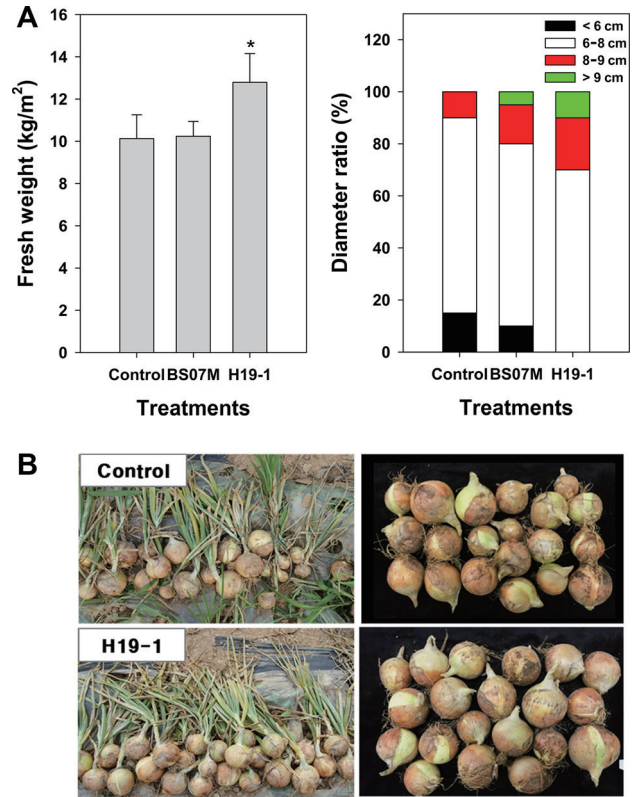


Fig. 2. Fresh weight and diameter ratio (A) and the pictures of harvested onion bulbs (B) drenched with the bacterial strains, BS07M (a bacterial positive control) and H19-1, and control. The error bar means standard error of three replication with 20 plants each. An asterisk indicates statistical difference by least significant difference at $P < 0.05$.

양파의 상품성은 무안양파생산자협회의 양파 상품성(규격) 기준에 따라 다음과 같이 평가하였다. 샘플링한 양파는 대부분 '구형'으로 직경 길이 9 cm 이상은 특대, 8-9 cm는 대, 6-8 cm는 중, 6 cm 미만은 소로 구분하였다. 대조구의 경우 수확한 양파의 '특대'는 0%인 반면, H19-1 균주 처리구는 10%이었으며, 비교미생물 BS07M 처리구는 5%이었다(Fig. 2). 수확한 '대'의 비율도 대조구 10%, BS07M 15%, H19-1은 20%로 H19-1을 처리할 경우 상품성이 높은 '특대'와 '대'의 비율이 높았다(Fig. 2). 반면, 상품성이 적은 '소'는 대조구가 15%, BS07M 10%를 차지한 반면, H19-1을 처리구에서는 수확되지 않았다(Fig. 2). 또한, 양파 개당 둘레, 무게를 비교한 결과, 대조구는 둘레 39.3±10.3 cm, 무게 186.0±71.1 g이었으며, H19-1 균주 처리구는 둘레 48.4±8.6 cm, 무게 252.5±65.8 g로 대조구 대비 유의하게 증가하였다(data not shown). 이와 유사하게 Novello 등(2021)의 연구에서 양파에 식물생장촉진세균(plant growth promoting bacteria) *Pseudomonas* sp. 5Vm1K와 *P. migulae* 8R6을 처리했을 때 양파의 생중량이 대조구 대비 200.9%와 132.4% 증가하

는 것을 보고하였다. Mógor 등(2021)은 석회질조류 *Lithothamnium* sp.를 엽면시비 시 양파의 잎 길이와 면적이 증가하였고, 뿌리의 길이와 직경 등의 뿌리 생장도 향상됨을 확인하였으며, 직경이 7-9 cm인 양파의 생산량은 15.5% 증가하여 대조구 대비 상품성이 증가하였다고 보고하였다.

양파에는 유리당, 유리아미노산, 무기물, 아스코르브산(ascorbic acid)과 폴리페놀 등 다양한 성분이 있으며, 이 중 아스코르브산 함량은 황색 양파의 경우 19.20 mg%인 것으로 보고되었다(Jeong 등, 2006). 아스코르브산은 대표적인 항산화 성분으로 섭취하게 되면, 멜라닌 생성을 억제하며 콜라겐 합성에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져있다(Arrigoni와 De Tullio, 2002). 또한, 식물에서 아스코르브산은 항산화 역할뿐만 아니라 식물의 발달과 비생물적 스트레스에 대한 내성에 중요한 역할을 한다고 보고되었다(Akram 등, 2017). 이에 따라 수확한 양파의 기능성분 중 아스코르브산과 비타민 A의 전구체인 카로티노이드(carotenoid)의 함량을 분석하였다. 아스코르브산은 농업기술 실용화재단에 분석의뢰하였으며, 카로티노이드는 Yoo 등(2021)의 방법에 따라 양파를 샘플링하여 정량 분석하였다. 아스코르브산은 대조구 6.70±0.61 mg/kg, H19-1 균주 처리구는 7.52±0.26 mg/kg였으며, 카로티노이드 함량은 대조구 31.3±1.4 µg/g, H19-1 균주 처리구 39.0±1.5 µg/g으로 두 가지 유용성분 함량 모두 H19-1 균주 처리구에서 유의하게 증가하였다(Table 1). 유사한 결과로 Abbas 등(2020)은 해조류 추출물을 농도별로 4가지 품종(Lambada, Red Bone, Phulkara, Nasar puri)의 양파에 처리했을 때, 0.5% 처리구에서 각 품종마다 N, P, K의 함량이 크게 증가하였고, 아스코르브산 함량은 3%의 해조류 추출물 처리 시 4가지 품종 Lambada, Red Bone, Phulkara, Nasar puri에서 각각 58.8%, 52.9%, 58.3%, 58.8%가 증가하였다고 보고하였다. 또한, Younes 등(2021)은 감초(*Glycyrrhiza glabra*) 추출물을 양파 품종인 Shandaweel과 Giza 20에 처리하였을 때, 수확량과 미네랄(K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) 함량, 항산화효소(superoxide dismutase, catalase, ascorbate peroxidase, glutathione peroxidase) 활성이 증가하였고, Shandaweel 품종에서 감초 추출물 처리 시 잎에서 카로티노이드 함량은 대조구 대비 85.03%, 안토시아닌 함량은 17.23% 증가하였다고 보고하였다.

Table 1. Ascorbic acid and carotenoid contents of onion bulb

Treatment	Ascorbic acid (mg/kg)	Carotenoid (µg/g)
Control	6.70±0.61 b ^a	31.3±1.4 b
H19-1	7.52±0.26 a	39.0±1.5 a

^aMean±standard error within a column followed by the same letter are not significantly different by least significant difference at $P < 0.05$.

Farooq 등(2020)은 건조 스트레스 조건하에 4가지 품종의 잎 꽃에서 아스코르브산 처리구에서 엽록소 함량을 증가시키고, 과산화수소와 말론디알데히드(malondialdehyde) 함량, catalase와 superoxide dismutase 활성을 감소시켜 아스코르브산이 건조 조건에서 삼투압과 항산화 방어 시스템 조절에 관여한다고 보고하였다. Gaafar 등(2020)의 연구에서도 아스코르브산에 의해 건조 스트레스로 인한 엽록소와 카로티노이드 함량 감소가 완화되었으며, 활성산소종(reactive oxygen species)의 소거를 가속화한다고 보고하였다. 이런 결과들은 아스코르브산이 식물의 건조 스트레스 조건에서 엽록소 및 카로티노이드 등의 손실을 줄이고 광합성 효율을 향상시키는 것을 의미하며, 또한, 이차적으로 활성산소로 인한 산화 스트레스를 감소시켜 식물이 가뭄에 내성을 갖게하는 데 영향을 줄 것으로 보인다.

요 약

양파 생육후기 중 가뭄에 의한 피해가 발생할 때 *Bacillus aryabhattai* H19-1를 관주처리할 경우, 양파의 수량이 대조구 대비 유의하게 증가하였고, 수확한 양파의 규격이 증가하여 상품성이 증가하였다. 또한, 수확한 양파에 함유되어 있는 아스코르브산과 카로티노이드 함량이 H19-1 처리 시 증가하여, 이에 따라 가뭄 스트레스에 의한 피해가 경감했을 가능성이 있음을 제시하였다. 따라서, 이후 연구에서는 H19-1의 건조피해 저감과 관련한 작용 기작에 대한 연구를 수행할 예정이다.

Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgments

This research was supported by a research grant (Project No. PJ011850) from Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Abbas, M., Anwar, J., Zafar-ul-Hye, M., Iqbal Khan, R., Saleem, M., Rahi, A. A. et al. 2020. Effect of seaweed extract on productivity and quality attributes of four onion cultivars. *Horticulturae* 6: 28.
- Akram, N. A., Shafiq, F. and Ashraf, M. 2017. Ascorbic acid: a potential oxidant scavenger and its role in plant development and

- abiotic stress tolerance. *Front. Plant Sci.* 8: 613.
- Arrigoni, O. and De Tullio, M. C. 2002. Ascorbic acid: much more than just an antioxidant. *Biochim. Biophys. Acta* 1569: 1-9.
- Farooq, A., Bukhari, S. A., Akram, N. A., Ashraf, M., Wijaya, L., Alyemeni, M. N. et al. 2020. Exogenously applied ascorbic acid-mediated changes in osmoprotection and oxidative defense system enhanced water stress tolerance in different cultivars of safflower (*Carthamus tinctorious* L.). *Plants* 9: 104.
- Gaafar, A. A., Ali, S. I., El-Shawadfy, M. A., Salama, Z. A., Sekara, A., Ulrichs, C. et al. 2020. Ascorbic acid induces the increase of secondary metabolites, antioxidant activity, growth, and productivity of the common bean under water stress conditions. *Plants* 9: 627.
- Jeong, C. H., Kim, J.-H. and Shim, K. H. 2006. Chemical components of yellow and red onion. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 35: 708-712.
- Korea Development Institute. 2022. Production of barley, garlic and onions in 2022. URL <https://eiec.kdi.re.kr> [23 February 2023].
- Kim, M.-J., Gang, H.-Y., Oh, T.-S. and Park, J.-S. 2017. 2017 Drought status and prospect. *Water Future* 50: 56-61.
- Kwon, E., Ryu, D. and Surh J. 2013. Quality characteristics of onions applied with methylsulfonylmethane (MSM) during cultivation. *Korean J. Food. Sci. Technol.* 45: 213-220.
- Lee, Y. H., Song, J, Weon, H.-Y., Park, K. and Sang, M. K. 2016. Plant growth promotion and induced resistance by the formulated *Bacillus vallismortis* BS07M in pepper. *Res. Plant Dis.* 22: 284-288.
- Mógor, A. F., Amatucci, J. O., Mógor, G. and Gemin, L. G. 2021. Biostimulant action of *Lithothamnium* sp. promoting growth, yield, and biochemical and chemical changes on onion. *J. Appl. Phycol.* 33: 1905-1913.
- Novello, G., Cesaro, P., Bona, E., Massa, N., Gosetti, F., Scarafoni, A. et al. 2021. The effects of plant growth-promoting bacteria with biostimulant features on the growth of a local onion cultivar and a commercial zucchini variety. *Agronomy* 11: 888.
- Sami, R., Elhakem, A., Alharbi, M., Benajiba, N., Almatrafi, M. and Helal, M. 2021. Nutritional values of onion bulbs with some essential structural parameters for packaging process. *Appl. Sci.* 11: 2317.
- Song, J.-S., Ahn, G. R. and Jung, S. 2022. Efficacy of hydrogen peroxide on root rot disease of ginseng sprouts. *Res. Plant Dis.* 28: 204-208. (In Korean)
- Statistics Korea. 2017. Production of barley, garlic and onions in 2017. URL <https://kostat.go.kr> [23 February 2023].
- 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 J. Environ. Agric.* 40: 49-59.
- Younes, N. A., Rahman, M. M., Wardany, A. A., Dawood, M. F. A., Mostofa, M. G., Keya, S. S. et al. 2021. Antioxidants and bioactive compounds in licorice root extract potentially contribute to improving growth, bulb quality and yield of onion (*Allium cepa*). *Molecules* 26: 2633.
- Zhou, S., Huang, G. and Huang, H. 2022. Extraction, derivatization and antioxidant activities of onion polysaccharide. *Food Chem.* 388: 133000.