



Araştırma Makalesi - Research Article

Orkide Yumru Ontogenisinde Bazı Hormonların Aktiviteleri

Activities of Some Hormones in Orchid Tuber Ontogeny

Mehmet Aybeke^{1*}

Geliş / Received: 16/11/2022

Revize / Revised: 15/06/2023

Kabul / Accepted: 12/07/2023

ÖZ

Orkide yumruları (tuber) tarımsal üretimde gün geçtikçe değerlendirilmekte olup, ayrıca tıbbi ilaç önemine sahiptir. Ekonomik değerde olan bu yumrularla ilgili hormon içerikleri üzerine bir araştırmaya rastlanılmadığı için bu çalışmada *Ophrys mammosa* subsp. *mammosa*'da yumru gelişiminde bazı hormonların (Jasmonik asit = JA, Salisilik asit= SA, Absisik asit= ABA) aktivitelerinin araştırılması amaçlanmıştır. Yumrular, farklı gelişim aşamalarında (stolon çıkışı, stolon uzaması, stolon ucunun yumruya dönüşümü ve yumru olgunlaşması) bitkilerden alınarak LC-MS/MS yöntemi ile hormon aktiviteleri incelenmiş ve 3 tekrarlı deneylerden istatistik analizler yapılmıştır. İncelenen hormonlardan SA'nın stolonun çıkışı, uzaması ve yumru olgunlaşması aşamalarında oldukça arttığı, ABA'nın ise stolon uzaması aşamasında anlamlı düzeyde arttığı tespit edilmiştir. Yumru genişlemesinde özellikle şeker hareketi ile ABA'nın daha aktif olduğu dikkat çekmiştir.

Anahtar Kelimeler- Orkide, Yumru, Jasmonik asit, Salisilik asit, Absisik asit

ABSTRACT

Orchid tubers are getting value day by day in agricultural production and also have medicinal drug importance. Since there is no hormonal research on these tubers, which are of economic value, in this study, *Ophrys mammosa* subsp. *mammosa*, it was aimed to investigate the activities of some hormones (Jasmonic acid = JA, Salicylic acid = SA, Abscisic acid = ABA) in tuber development. Tubers were taken from plants at different developmental stages (stolon emergence, stolon elongation, transformation of stolon tip to tuber and tuber maturation) and their hormone activities were examined using the LC-MS/MS method and statistical analyzes were made from three repetitive experiments. It was determined that SA, which is one of the examined hormones, increased considerably in the stages of stolon emergence, elongation, and tuber maturation, while ABA increased significantly in the stage of stolon elongation. It has been noted that ABA is more active in tuber expansion, especially with sugar movement.

Keywords- Orchid, Tuber, Jasmonic acid, Salicylic acid, Abscisic acid

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: mehmetaybeke@trakya.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-9512-5313>)
Biyoloji Bölümü, Fen Fakültesi, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye

I. GİRİŞ

Orchidaceae familyası, karasal veya ağaçlar üzerinde epifitler olmak üzere ototrof, saprofitik veya parazitik olmak çok değişik yelpazede bitki formlarını içermektedir [1]. Bitkilerin en büyük ailesi olarak kabul edilen Orchidaceae, 25.000–35.000 türden oluşur [2]. Türkiye’de Orchidaceae familyası 24 cins ve toplamda 229 taksonla temsil edilmektedir [3]. Ve bu sayı her geçen gün yeni orkidelerin keşfi ile gittikçe artmaktadır. Bu dikkate değer güzellikte bitkiler, çiçek varyasyonları ve değişik tozlaşma yöntemleri ile birçok araştırmacının ilgi odağı olmuştur [4].

Ülkemizde de yayılış gösteren karasal orkidelerde yumru anatomisi ile yapılan çalışmalar oldukça azdır [5-7]. Orchidoideae subfamilyası Orchideae tribusuna ait karasal orkide yumru anatomisinde dıştan genellikle 1–5-tabakalı velamen, altında genelde tek sıralı ekzodermis, tilosom ve pasaj hücreleri ve temel dokuda rafid idoblastları, meristele iletim demeti etrafında yoğunlaşmış müsilaaj hücreleri ve nişasta içeren hücreler tespit edilmiştir [6-7]. Bu çalışmada ayrıca 27 Orkide taksonunda (*Ophrys*, *Orchis*, *Dactylorhiza* spp) meristelar ark düzeni tespit edilmiş ve anatomik verilerden kladistik analiz yapılmış, ayrıca nişasta tanelerinin ve müsilaaj hücrelerinin şekillerinin ve meristele tiplerinin taksonlar arasında birincil tanımlayıcı karakter olduğu belirtilmiştir [6]. Bir başka çalışmada *Spiranthes*, *Platanthera*, *Serapias*, *Himantoglossum* ve *Anacamptis* taksonlarının yumru anatomisi ayrıntılı olarak incelenmiş ve sonuçta velamen tabaka düzeni, temel dokuda müsilaaj hücre çeper şekilleri ve vasküler demet ark düzenlerinin taksonlar arasında ayırt edici olduğu belirtilmiştir [7].

Orkide yumruları, stolon ucunun şişkinleşmesi ile gelişmekte ve bu yumruların “salep” elde edilmektedir. Salep, Türkiye, Orta Doğu ülkeleri ve Güneydoğu Avrupa’da tüketilmektedir. Salebin en önemli bileşeni glukomannan olup, bileşiminin %16-55’ini oluşturmaktadır [8].

Yukarıda geniş yelpazede verilen anatomik çalışmalara rağmen yumru hormonlarının hiç araştırılmadığı literatür analizlerinde ortaya çıkmıştır. Çünkü orkide yumrusu, ekonomik ve tıbbi drog olarak oldukça önemlidir [9]. Yumru hormon aktivitelerinin detaylı tespiti, yumru fizyolojisinin daha iyi anlaşılmasına ve tarla koşullarında dikimi yapılan bu bitkiden daha fazla verim elde edilmesine ve doğadan neslin tükenmesinin önüne geçilmiş olacaktır. Dolayısıyla çalışmanın amacı; orkide yumrularında bazı hormonların aktivitesinin araştırılmasıdır.

II. MATERYAL VE METOD

Çalışmada *Ophrys mammosa* Desf. subsp. *mammosa* (Orchidaceae)’nin Edirne’de Üniversite kampüsünde yapılan arazi çalışmalarında toplanan örnekleri, bir sonraki yıl saksıya dikilerek stolon ve yumru gelişmeleri takip edilmiştir. Toplanan örneklerin bir kısmı, EDTU 8206 numara ile herbaryuma (Trakya Üniversitesi Herbaryumu) dâhil edilmiştir.

Çalışmada yumru gelişiminin 4 farklı aşaması dikkate alınmıştır [10]. Bu aşamalar sırasıyla; a. stolon çıkışı, b. stolon uzaması, c. stolon ucunun şişkinleşmesi, d. yumruya dönüşüm (olgun dönem) (Şekil 1). Bu aşamalarda topraktan sökülen bitkilerin kısımları (stolon veya olgun dönem yumru), saksıdan çıkarılarak hemen hormonal analizler için -86 °C’de derin dondurucuda saklanmıştır.

Stolon ve gelişen yumrulara hormonlar Agilent 1200 infinity LC (Likit Kromatografi), Agilent 6460 Triple Quadrupole MS/MS sistem Jet Stream Electrospray iyonizasyon kaynaklı (ESI) (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA) kütle/kütle spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir.

Yaklaşık 1 gram bitki dokusu, 10 ml isopropil+metanol+su karışımında homojenizatör ile homojenize edilmiş olup daha sonra sonrasında 4°C’de 20 dakika 10.000 rpm’de santrifüj edilmiştir. Bunu takiben süpernatant alarak sırasıyla 45µ ve 20µ PTFE filtreden süzölmüştür. Süzölen bu örnek viallere alınarak analiz için 1 µl enjeksiyon yapılmıştır. Çalışmada kalibrasyon eğrileri her bir hormon için 1-200 ng/l aralığında çizilmiştir. Çalışmalarda Agilent Poroshell 120 EC-C18 (4,6x50 mm, 2,7 µm particle size) kolon kullanılmış kolon fırın sıcaklığı 25°C’olarak ayarlanmıştır. Mobile Faz A ultrasaf su, 0,2 % ammonium formate (v/v), 0,2 % formic acid (v/v). Mobile Faz B metanol, 0,2 % ammonium formate (v/v), 0,2 % formic acid (v/v) olarak hazırlanmıştır. Akış hızı sabit sıcaklıkta 0,3 ml/dak olarak ayarlanarak ve gradient profili aşağıdaki gibi uygulanmıştır:

0 - 1 dak, 70 % A, 30 % B; 3 - 7 dak; 30 %, 70 %; 9 -10 dak. 50 % A, 50 % B; 11 - 12 dak; 70 % A, 30 % B. Toplam analiz süresi 12 dakika olarak ayarlanmıştır. Çalışmalarda kütle spektrometresi/ kütle spektrometresi (MS/MS) koşulları aşağıdaki gibidir: İyonlaştırıcı gaz sıcaklığı: 350°C, Nebulizer gaz basıncı:45 psi, nozzle voltaj: 500V, Kapılar ilgili voltaj: 3000V, sheat gaz sıcaklığı 400°C, sheat gaz akışı 12 l/ dakika. Enjeksiyon sonunda elde edilen pik alanları Mass Hunter (version B.06.01) yazılım ile açılarak ve pik alanları kullanılarak Absisik asit (ABA), Jasmonik asit (JA) ve Salisilik asit (SA) ait değerler belirlenmiştir [11].

Her bir hormon denemesi 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler ortalama ve standart hataları ile tek yönlü ANOVA testine tabi tutulmuş olup ortalamaların girdiği gruplar Duncan Testi ($p \leq 0.05$) ile belirlenmiştir. Bu analizlerin tamamında SPSS, XLSTAT istatistik paket programları kullanılmıştır.

III. SONUÇ VE TARTIŞMA

Her 4 aşamada da Jasmonik asit (JA) hormonuna rastlanmamıştır; Salisilik asit (SA) ve Absisik asit (ABA) hormon değerleri aşağıda ayrı ayrı verilmiştir:

SA; 1. aşamada kısmen aktif olmuş, 2. ve 3. aşamalarda gittikçe artan değerlerde aktivitesi de yükselmiştir. Aktivitenin en düşük olduğu dönem 4. aşama (10,56 ng/ml), aktivitenin en yüksek olduğu evre ise 3 aşama olduğu (72,68 ng/ml) görülmüştür (Şekil 2a). SA değerleri, tüm aşamalarda istatistik olarak anlamlıdır.

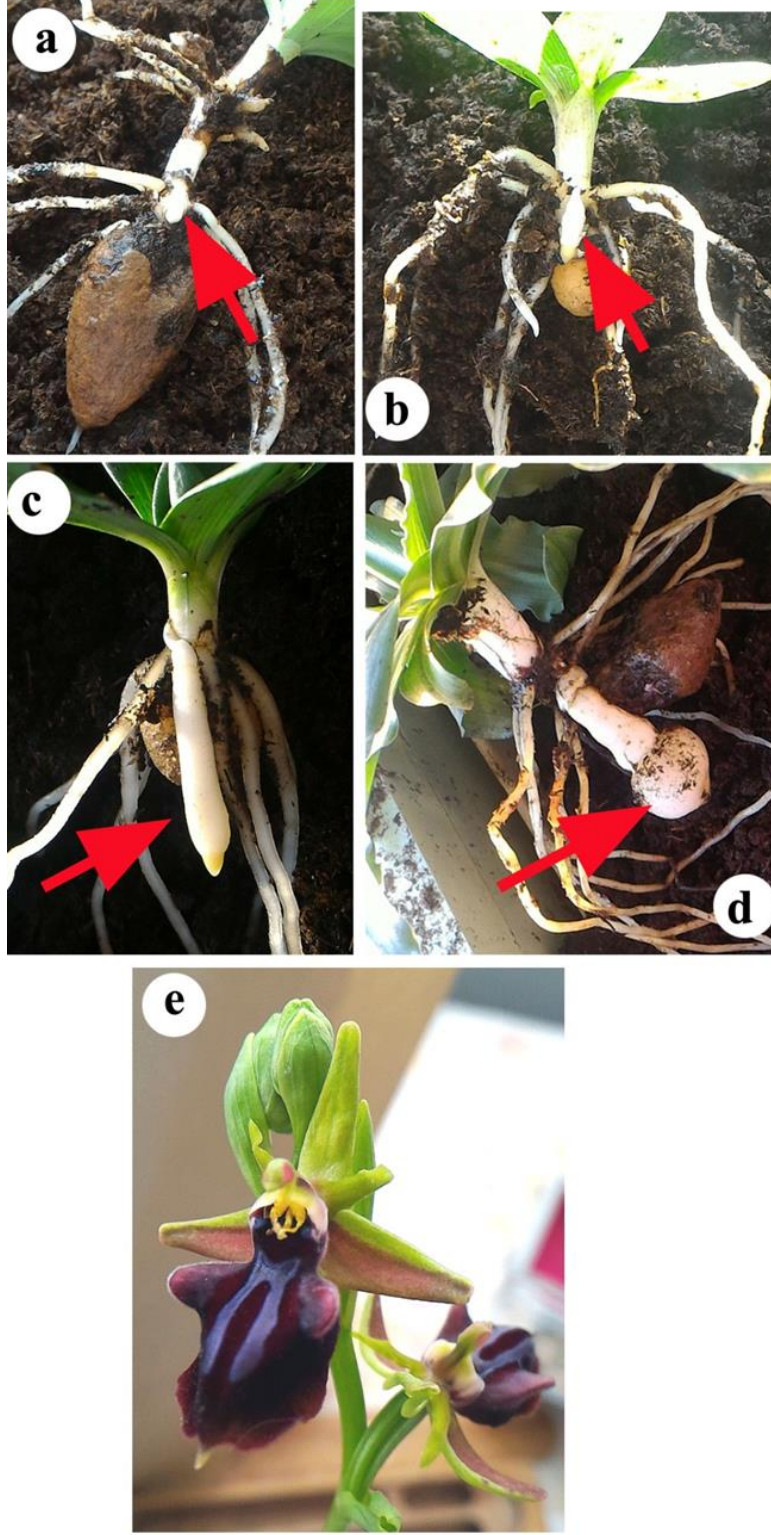
ABA; aktivitesi 36,94 ile 47,2 ng/ml arasında çıkmıştır. En düşük aktivitenin 1. aşama, en yüksek aktivitenin ise 2. aşamada olduğu tespit edilmiştir. İstatistik analizlere göre sadece 2. aşama değeri, diğerlerinden anlamlı düzeyde farklıdır (Şekil 2b).

Hormon analiz sonuçları birbiri ile karşılaştırıldığında; 1. aşamada ABA'nın, SA'ya göre daha aktif olduğu dikkat çekmiştir. 2. aşamada (stolon uzaması), her iki hormon değeri artsa da SA'daki artış daha fazla olmuştur. Sonuç olarak SA başta olmak üzere her iki hormonun da stolon uzamasında aktif olduğu tespit edilmiştir. Farklı bir çalışmada Absisik asitin (ABA) de stolon büyümesini kontrol ettiği ve ABA artışı ile uzamanın durduğu belirtilmiştir [12]. Bu çalışmada GA uzamayı teşvik ederken çalışmamızda ise bu görev SA tarafından gerçekleştirilmiştir. Benzer bir araştırmada SA, adventif kök oluşumunu artırmıştır [13]. *Arabidopsis* ve elmalarda yapılan çalışmalarda SA, *Arabidopsis*'de adventif kök sayısını artırırken elmada ise azaltmıştır [14]. SA, büyümenin biyo-düzenleyicisi olarak kabul edilir ve bitkilerde, köklerde ve meyvelerde yaprak biyokütlesini arttırdığı gösterilmiştir [15–16]. Ayrıca SA'nın, salkım gelişimini de düzenlediği belirtilmiştir [17]. Kısacası bitki taksonuna göre organ gelişiminde farklı hormonların aktif olduğu anlaşılmaktadır. Nitekim Miura ve Tada [18], SA'nın bitki üzerindeki nihai etkisinin, konsantrasyonuna, bitki tipine, bitki büyüme aşamasına ve çevre koşullarına bağlı olduğunu vurgulamıştır.

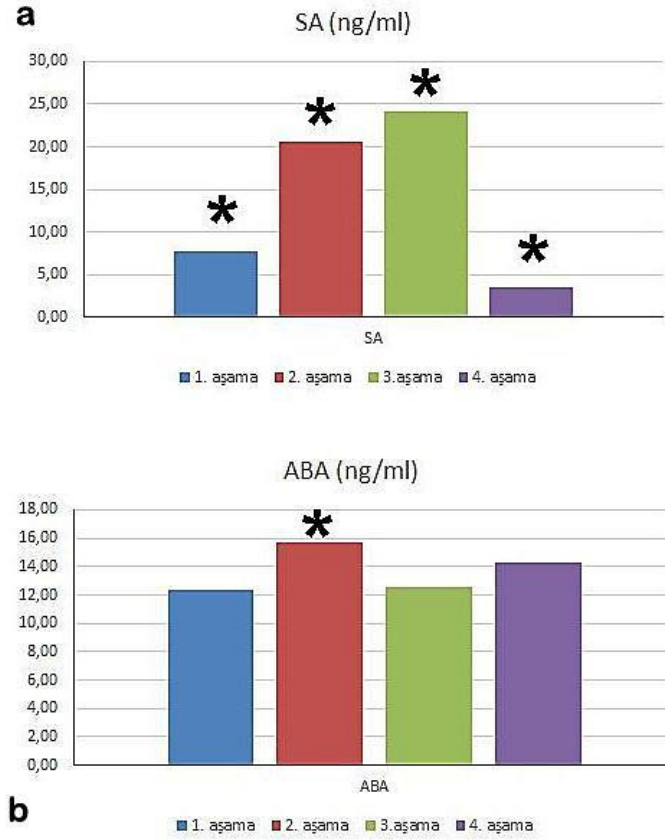
3. aşamada (Stolon ucunun şişmesi) SA en yüksek değerde ABA ise oldukça düşüktür. SA anlamlı olarak bu gelişimi indüklemiştir. 4. aşamada (olgun yumru gelişimi) SA anlamlı bir şekilde en düşük değerde iken ABA daha yüksektir. Yumru oluşumunu ABA indüklemiştir (Şekil 2). Bu noktada; SA ile ABA arasında bir antagonizm dikkat çekmektedir. Benzer bulgular farklı bir çalışmada da tespit edilmiştir [19]. Patateste yapılan çalışmada; ABA, genellikle tüberizasyonu indüklemiştir [20]. Genellikle yumrunun oluşumunda fitohormonlardan sitokininler, absisik asit, jasmonik asitin yumru oluşumunu uyardığı gösterilmiş [21], SA ile ilgili olarak bu konuda herhangi bir bulguya rastlanmamıştır. Dolayısıyla orkide yumru gelişimi ve SA bağlamında bu çalışmanın verileri özgün niteliktedir.

Stolon çıkışı gibi farklı gelişmelerde (lateral kök primordia, kök kılı ve ksilem oluşumu) reaktif oksijen türlerinin (ROS) olumlu bir rol oynadığı bilinmektedir [22]. ROS, bitki gelişimi için önemlidir [23] ve SA, ROS birikimini teşvik ederek pirinçte kök meristem aktivitesini korumuştur [24]. SA, bitki hücrelerinin oksit/redüksiyon dengesini etkilemektedir [25-27]. SA, H₂O₂ kaynaklı adventif kök gelişimini uyarmıştır [28]. Bu sonuçlardan stolon çıkışı, uzama ve yumruya dönüşüm aşamalarında (1-3. aşamalar) muhtemelen ROS olabileceği düşünülmekte ve bu nedenle ilerideki çalışmalarımızda antioksidan gen ve enzim aktivitelerinin incelenmesi bir hedef olarak görülmektedir.

Karbonhidratların (ör. sakaroz, nişasta) ve fitohormonların, depolama köklerinin oluşumunda çok önemli rol oynadıkları bilinmektedir [29]. SA'nın şeker birikimi üzerinde olumlu etkileri vardır [26, 30]. Olumsuz koşullarda SA etkisinde şeker birikimi genelde erken olurken, ABA'ya duyarlı olarak karbonhidrat birikimi ve sakarozun floem yüklemesi geç zamanlarda şiddetlenir [31]. SA ve ABA'nın karbonhidrat hareketliliğine dair önceki çalışmaların sonuçları kısmen bizim sonuçlarımızla da benzerlik göstermektedir. Zira sonuçlarımıza göre SA 3. aşamada ve en yüksek 4. aşamada en düşük seviyede belirlenirken; ABA'nın SA'dan daha yüksek miktarda olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 1. (a). Stolon çıkışı, (b). Stolon uzaması, (c). Stolon ucunun şişkinleşmesi, (d). Yumruya dönüşüm (olgun dönem), (e). Bitkinin çiçekli hali. Tüm aşamalar kırmızı oklarla işaretlenmiştir.



Şekil 2. (a) SA ve (b) ABA hormon değerleri 4 farklı aşamadaki değerleri ve istatistik analiz sonuçları (* değerleri, istatistik olarak anlamlı değerleri ifade eder). (SA değerleri, $0,05 < P$ 'de anlamlıdır [F= 4,07 < 167; D= 2. aşama= 2,5; 3. aşama= 2,61; 4. aşama= 2,66). ABA değerleri, $0,05 < P$ 'de anlamlıdır [F= 3,19 < 4,07; D= 2. aşama= 2,78; 3. aşama= 2,9; 4. aşama= 2,96).

Bu noktada yumru oluşumunun ileri dönemlerinde (4. aşamada) SA yerine ABA artışının şeker hareketliliğinde önemli olduğu düşünülmektedir. Yine *Gladiolus hybridus*'da stolondan korm ve kormelerin hızlı genişlemesi sırasında, nişasta ve şeker seviyelerinin hızlıca arttığı, buna paralel olarak ABA seviyelerinin keskin bir şekilde arttığı, GA₃ seviyesinin ise azaldığı belirtilmiştir [32]. Bizim çalışmamızda bu artış 3. aşamadan 4. aşamaya geçişte hızlıca nişasta yoğunluğu olarak dikkat çekmiştir [7]. Aynı şekilde musilaj hücreleri de bu aşamalarda bilhassa 4. aşamada oldukça artmış [7] ve SA değeri oldukça düşerken ABA değeri değişmemiştir.

Çalışmamızda JA hormonunun hiçbir aşamada aktif olmadığı anlaşılmıştır. Oysa JA, yumru gelişimini indüklemektedir [10,33]. Bu sonucun esasen bitki familyasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışma ile orkidelerde nişasta ve musilaj birikiminin, ABA-SA antagonizması dâhilinde bilhassa stolondan yumruya geçiş ve sonrasında yumru oluşumu aşamalarında gerçekleştiği kesinleşmiştir. Çalışma sonuçları ABA-SA ikilisinin çalışma prensibi açısından önemli yer tutacağı gibi orkide yumru gelişimi açısından da orijinal bilgilere işaret etmektedir. İleride yapılacak çalışmalarda stolon çıkışından itibaren her aşamada antioksidan gen aktiviteleri, brassinosteroidler'in bu süreçte etkili olup olmadığı, nişasta ve şeker hareketliliği ile ilgili genlerin aktiviteleri detaylı olarak incelenecek ve yumru gelişimi biyolojisi her yönüyle aydınlatılmış olacaktır. Bu tarz çalışmalarla orkide yumrularından tarla koşullarında daha yüksek verimle salep elde edilmesi mümkün olacak, yumruların doğadan sökülmesine gerek kalmayacak, tarımsal ekonomide daha yüksek kazançlar sağlanacaktır.

IV. SONUÇLAR

Çalışmada orkide yumru gelişiminin 4 farklı aşamasında (stolon çıkışı, stolon uzaması, stolondan yumruya dönüşüm ve yumru olgunlaşması) Salisilik asit= SA, Absisik asit= ABA ve JA (= Jasmonik asit) aktiviteleri araştırılmıştır. İncelenen hormonlardan SA'nın stolonun çıkışı, uzaması ve yumru olgunlaşması aşamalarında oldukça arttığı, ABA'nın ise stolon uzaması aşamasında anlamlı düzeyde arttığı tespit edilmiştir. Yumru genişlemesinde özellikle şeker hareketi ile ABA'nın daha aktif olduğu dikkat çekmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından “TÜBAP 2020-94” kodlu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Leake, J. R. (2005). Plants parasitic on fungi: unearthing the fungi in myco-heterotrophs and debunking the ‘saprophytic’ plant myth. *Mycologist*, 19, 113-122.
- [2] Attri, L. K., Bhanwra R. K. & Nayyar, H. (2020). Pollination induced embryology studies in *Aerides multiflora* (ROXB.). *International Journal of Botanical Studies*, 5(4), 211–215.
- [3] Güler, N. & Deniz, İ. G. (2012). *Orchidaceae. Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler)*, 1.baskı. Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Basımı, İstanbul, 630-652.
- [4] Cozzolino, S. & Widmer, A. (2005). Orchid diversity: an evolutionary consequence of deception? *Trends in Ecology & Evolution*, 20, 487-494.
- [5] Stern, W. L. (1997). Vegetative anatomy of subtribe Orchidinae (Orchidaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 124, 121–136.
- [6] Aybeke, M., Sezik, E. & Olgun, G. (2010). Vegetative anatomy of some *Ophrys*, *Orchis* and *Dactylorhiza* (Orchidaceae) taxa in Trakya region of Turkey. *Flora*, 205, 73–89.
- [7] Aybeke, M. (2012). Comparative anatomy of selected rhizomatous and tuberous taxa of subfamilies Orchidoideae and Epidendroideae (Orchidaceae) as an aid to identification. *Plant Systematic & Evolution*, 298, 1643–1658.
- [8] Sezik, E. (1984). *Orkidelerimiz, Türkiye'nin Orkideleri*. Sandoz Kültür Yayınları, No: 6. İstanbul.
- [9] T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü. (2014). *Salep Eylem Planı, 2014-2018*. <https://web.ogm.gov.tr/ekutuphane/Yayinlar/Salep%20Eylem%20Plan%C4%B1.pdf>. (12.11.2014)
- [10] Aksenova, N. P., Konstantinova, T. N., Golyanovskaya, S. A., Sergeeva, L. I. & Romanov, G. A. (2012). Hormonal regulation of tuber formation in potato plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 59, 4, 451–466.
- [11] Doganlar, Z. B. (2012). Physiological and genetic responses to pesticide mixture treatment of *Veronica beccabunga*. *Water Air & Soil Pollution*, 223, 6201–6212.
- [12] Mokronosov, A.T. (1990). *Tuberization and Source-Sink Relations in Potato, Regulyatsiya rosta i razvitiya kartofelya (Regulation of Potato Growth and Development)*. Chailakhyan, M.Kh. and Mokronosov, A.T., eds. Regulation of Potato Growth and Development, Nauka, Moscow, 6-12.
- [13] Chun- Juan, D., Xin- Yan, L., Lu- Lu, X., Ling- Ling, W. & Qing- Mao, S. (2020). Salicylic acid regulates adventitious root formation via competitive inhibition of the auxin conjugation enzyme CsGH3.5 in cucumber hypocotyls. *Planta*, 252, 75.
- [14] Klerk, G. J. De, Guan, H. Y., Huisman, P. & Marinova, S. (2011). Effects of phenolic compounds on adventitious root formation and oxidative decarboxylation of applied indoleacetic acid in *Malus 'Jork 9'*. *Plant Growth & Regulation*, 63, 175–185.
- [15] Wen Xu, Y., Shuai Shuai, Lv., Zhao, D., Wen Chen, J., Ting Yang, W. & Wu, W. (2012). Effects of salicylic acid on monoterpene production and antioxidant systems in *Houttuynia cordata*. *African Journal of Biotechnology*, 11, 1364–1372.
- [16] Mutlu-Durak H. & Kutman, Y. (2021). Seed treatment with biostimulants extracted from weeping willow (*Salix babylonica*) enhances early maize growth. *Plants*, 10, 1449.
- [17] Zhou, D., Shen, W., Cui, Y., Liu, Y., Zheng, X., Li, Y., Wu, M., Fang, S., Liu, C., Tang, M., Yi, Y., Zhao M. & Chen, L. (2021). Apical spikelet abortion (asa) controls apical panicle development in rice by regulating salicylic acid biosynthesis. *Frontiers in Plant Science*, 12, 636877.
- [18] Miura, K. & Tada, Y. (2014). Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. *Frontiers in Plant Science*, 5, 4.
- [19] Dixit, R., Agrawal, L., Srivastava S. & Chauhan, P. S. (2021). *Paenibacillus lentimorbus* enhanced abiotic stress tolerance through lateral root formation and phytohormone regulation. *Journal of Plant Growth Regulation*. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10439-7>.
- [20] Macháková, I., Konstantinova, T. N., Sergeeva, L. I., Lozhnikova, V. N., Golyanovskaya, S. A., Dudko, N. D., Eder, J. & Aksenova, N. P. (1998). Photoperiodic control of growth, development and phytohormone balance in *Solanum tuberosum*. *Physiologia Plantarum*, 102, 272–278.
- [21] Aksenova, N. P., Sergeeva, L. I., Kolachevskaya O. O. & Romanov, G. A. (2014). *Hormonal regulation of tuber formation in potato*. Ramawat, K. G. and Merillon, J. M. ed. 2013. *Bulbous plants, Biotechnology*. CRC Press, New York, 3-36.
- [22] Orman-Ligeza, B., Parizot, B., Rycke, R. De, Fernandez, A., Himschoot, E., Breusegem F. Van, Bennett, M. J., Périlleux, C., Beeckman, T. & Draye, X. (2016). RBOH-mediated ROS production facilitates lateral root emergence in *Arabidopsis*. *Development*, 143, 3328–3339.

- [23] Waszczak, C., Carmody M. & Kangasjarvi, J. (2018). Reactive oxygen species in plant signaling. *Annual Review of Plant Biology*, 69, 209–236.
- [24] Xu, L., Zhao, H. Y., Ruan, W. Y., Deng, M. J., Wang, F., Peng J. R., Luo, J., Chen, Z. & Yi, K. (2017). Abnormal inflorescence meristem1 functions in salicylic acid biosynthesis to maintain proper reactive oxygen species levels for root meristem activity in rice. *Plant Cell*, 29, 560–574.
- [25] Mady, M. (2009). Effect of foliar application with salicylic acid and vitamin E on growth and productivity of tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) Plant. *Journal of Plant Production*, 34, 6715–6726.
- [26] La, V. H., Lee, B. R., Islam, M. T., Park, S. H., Jung, H. I., Bae D. W. & Kim, T. H. (2019). Characterization of salicylic acid-mediated modulation of the drought stress responses: Reactive oxygen species, proline, and redox state in *Brassica napus*. *Environmental and Experimental Botany*, 157, 1–10.
- [27] Gao, W., Liu, Y., Huang, J., Chen, Y., Chen, C., Lu, L., Zhao, H., Men, S. & Zhang, X. (2021). MES7 modulates seed germination via regulating salicylic acid content in *Arabidopsis*. *Plants*, 10, 903.
- [28] Wenting, G., Niu, L., Wang, C., Wei, L., Pan Y. & Liao, W. (2021). Hydrogen peroxide is involved in salicylic acid- induced adventitious rooting in cucumber under cadmium stress. *Journal of Plant Biology*. <https://doi.org/10.1007/s12374-021-09332-3>
- [29] Ravi, V., Chakrabarti, S. K., Makesh Kumar, T. & Saravanan, R. (2014). *Molecular regulation of storage root formation and development in sweet potato*. Hoboken, N.J. ed. Horticultural Reviews, vol. 42, Wiley, USA, 157–208.
- [30] Jing, F. U., Xu, Y. J., Lu, C., Yuan, L. M., Wang, Z. Q. & Yang, J. C. (2013). Changes in enzyme activities involved in starch synthesis and hormone concentrations in superior and inferior spikelets and their association with grain filling of super rice. *Rice Science*, 2, 120–128.
- [31] Park, S. H., Lee, B. R., La, V. H., Mamun, M. A., Bae D. W. & Kim, T. H. (2021). Drought intensity-responsive salicylic acid and abscisic acid crosstalk with the sugar signaling and metabolic pathway in *Brassica napus*. *Plants*, 10, 610.
- [32] He, X. L., Shi, L. W., Yuan, Z. H., Xu, Z., Zhang, Z. Q. & Ming-Fang, Y. (2008). Effects of lipoxygenase on the corm formation and enlargement in *Gladiolus hybridus*. *Scientia Horticulturae*, 118, 60–69.
- [33] Sarkar, D., Pandey, S. K. & Sharma, S. (2006). Cytokinins antagonize the jasmonates action on the regulation of potato (*Solanum tuberosum*) tuber formation in vitro. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 87, 285–295.