مقاله مروری

تکنیک‌های آماده کردن (Priming) بذر برای افزایش تولید سبزیجات

مانی جباری (نویسنده مسئول)[1*] و میترا جباری[2]

۱*- کارشناس ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران،
mani.jabbari.mp@gmail.com

۲- کارشناس ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،
mitrajabbari2014@gmail.com

تاریخ دریافت: دی ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: اسفند ۱۴۰۱

Investigating the Effect of Biological Crusts on Some Soil Properties

Mani Jabari (Corresponding author)[1*] and Mitra Jabari[2]

1*- M.Sc, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran, mani.jabbari.mp@gmail.com

2- M.Sc, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, mitrajabbari2014@gmail.com

Received: January 2023 Accepted: March 2023

چکیده

محصولات باغی به ویژه سبزیجات به دلیل حجم کم و ارزش بالا لازم است از فناوری آماده کردن بذر بهره برند. کاشت زودهنگام سبزیجات در محیط‌های غیربهینه اغلب برای دریافت سود بهتر در بازار انجام می‌شود، اگرچه به طور همزمان کشاورزان را مجبور می‌کند تا از قوه نامیه بذر بالا برای جبران تولید نشاء استفاده کنند. برای مقابله با این مشکل، کشاورزان و شرکت‌های تولید بذر در سراسر جهان، تکنیک‌های پرایمینگ بذرها را انجام می‌دهند، زیرا همزمانی در گلدهی و باردهی را تسهیل می‌کند و در نتیجه عملکرد بهبود می‌یابد. استراتژی های مختلف آماده سازی مورد استفاده برای تیمار بذر به دو دسته معمولی/تهاجمی (هیدرو، اسمو، هورمونی، هاله، ماتریکس جامد، مواد مغذی، زیستی یا نانو پرایمینگ) و فیزیکی/غیرتهاجمی (مغناطیسی، اشعه ماوراء بنفش) طبقه‌بندی می‌شوند. مزایای آماده سازی بذر شامل زمان سبز شدن گیاه، هزینه کاشت مجدد، آبیاری و کوددهی اضافی، مدیریت علف‌های هرز، رشد یکنواخت. بررسی جامع در مورد تکنیک‌های آماده سازی بذر اعمال شده در محصولات کم حجم مانند سبزیجات مورد توجه قرارنگرفته است. این بررسی مزایای تکنیک‌های مختلف آماده سازی بذر برای سبزیجات را بیان می‌کند.

کلمات کلیدی: پروتئین، جوانه‌زنی، خواب بذر، محصولات باغی، نشاسته.

Abstract

Garden products, especially vegetables, need to use seed preparation technology due to their small volume and high value. Early planting of vegetables in sub-optimal environments is often done to get better market returns, although it simultaneously forces farmers to use high seed vigor to compensate for seedling production. To deal with this problem, farmers and seed companies around the world practice seed priming techniques because it facilitates the synchronicity of flowering and fruiting, resulting in improved yield. Different preparation strategies used for seed treatment are classified into conventional/invasive (hydro, osmo, hormonal, halo, solid matrix, nutrients, biological or nanopriming) and physical/non-invasive (magnetic, UV) categories. The advantages of seed preparation include: germination time, cost of replanting, additional irrigation and fertilization, weed management, uniform growth. A comprehensive review of seed preparation techniques applied to low-volume crops such as vegetables has not been considered. This review describes the advantages of different seed preparation techniques for vegetables.

Key words: Germination, Horticultural Products, Protein, Seed Dormancy, Starch.

مقدمه و کلیات

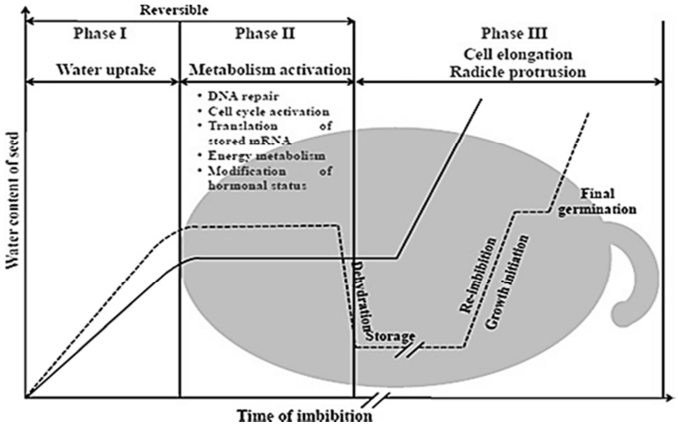
سبزیجات، علاوه بر غلات و حبوبات، نقش اساسی در تامین نیازهای غذایی انسان دارند. آنها علاوه بر اینکه به عنوان منبع کربوهیدرات، فیبر، ویتامین ها و مواد معدنی عمل می کنند، دارای طیف وسیعی از فیتوشیمیایی مانند بتاکاروتن، لیکوپن، لوتئین، زآگزانتین، ایندول‌ها، سولفورافان، ایزوتیوسیانات‌ها و غیره هستند که نقش مهمی در حفظ یک زندگی سالم دارند. در دسترس نبودن بذر کافی با کیفیت و مقرون به صرفه نبودن دانه‌های گران قیمت. تلاش برای تولید پایدار از طریق استفاده از مواد شیمیایی (کودهای مصنوعی، حشره‌کش‌ها و آفت کش‌ها) پیامدهای فاجعه باری بر محیط زیست و سلامت انسان دارد. تلاش برای فناوری‌های سبز نوآورانه جدید برای دستیابی به بهره‌وری بالاتر به یک اولویت مهم در سناریوی فعلی تبدیل شده است (Thakur *et al*., 2022). پرایمینگ بذر یک استراتژی امیدوارکننده برای ارائه راه حلی ارزشمند برای افزایش ارزش کاشت محصولات با ارزش بالا است. در طول پرایمینگ، بذرها پیش از کاشت تیمار می-شوند که به هیدراتاسیون کنترل شده آنها اجازه می-دهد تا آب را جذب کند. بذرها در مرحله اول جوانه‌زنی قرار می‌گیرند، اما بیرون زدگی از طریق پوشش بذر رخ نمی‌دهد (McDonald, 2000). از آنجایی که بذرهای آماده شده از نظر فیزیولوژیکی به مرحله جوانه‌زنی نزدیک هستند، سرعت جوانه‌زنی آنها افزایش یافته، جوانه‌زنی زودرس و یکنواخت، بهبود ویژگی‌های رشد، سبز شدن سریع‌تر و استقرار بهتر توده محصول را نشان می‌دهد (Farooq *et al*., 2006). بنابراین، زمان جوانه زنی کمتر، رشد بهتر نهال و جایگاه یکنواخت محصولات گیاهی با بذر مستقیم را به همراه دارد. تولید گلخانه ای سبزیجات خارج از فصل را می توان با کشت محصول اضافی در همان منطقه که به دلیل کاهش قابل توجه زمان جوانه زنی بذرهای پرایم شده امکان پذیر می شود (Thakur *et al*., 2022). تکنیک‌های تهاجمی و غیرتهاجمی براساس ویژگی این تکنیک برای ایجاد تغییرات در پوشش بذر و اندوسپرم/لپه طبقه‌بندی می‌شوند. از آنجایی که تکنیک‌های تهاجمی عمدتاً تیمارهای پرایمینگ مرطوب هستند، جذب تدریجی آب در طول پرایمینگ منجر به نرم شدن پوشش دانه و فعال شدن فرآیندهای متابولیکی در دانه می‌شود (Thakur *et al*., 2022). روش‌های غیرتهاجمی از فناوری‌های متعددی مانند قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی، اشعه UV، اشعه γ، پلاسمای اتمسفر سرد، پرتو لیزر استفاده می‌کنند. تابش و پرتو الکترونی کم انرژی همه این روش‌های غیرتهاجمی به ابزارهای قوی و بسیار خودکاری بستگی دارند که دانه‌ها را به روشی بازده آماده می‌کنند. این روش‌ها سازگار با محیط زیست هستند، و می‌توان آن‌ها را در اقدامات برای کشاورزی ارگانیک توصیه کرد. با این حال، ویژگی نامطلوب این روش‌ها این است که نصب و راه اندازی آن هزینه بر است و برای کار با ابزار به پرسنل ماهر نیاز است. از طرفی روش های تهاجمی اجازه تولید بذر حجیم را نمی‌دهد و سازگار با محیط زیست نیستند زیرا زباله‌های شیمیایی تولید می‌شود. با این وجود، آنها تیمارها، مقرون به صرفه-ای هستند (Thakur *et al*., 2022).

تکنیک‌های آماده سازی بذر برای افزایش تولید سبزیجات

روش‌های تهاجمی آماده سازی بذر برای افزایش تولید محصول: این روش‌ها بر پایه جذب آب توسط بذر است که منجر به شروع رویدادهای مربوط به جوانه‌زنی در بذرهای جذب شده می‌شود. تمام روش‌های پرایمینگ مبتنی بر هیدراتاسیون بذر با جذب آب به صورت سه مرحله می باشد (شکل ۱). منحنی‌های هیدراتاسیون بذر تقسیم می‌شوند: به سه مرحله: فاز I یک فرآیند فیزیکی است که شامل جذب آب توسط بذر است و بدون توجه به دانه‌های خفته یا غیر خفته، زنده یا غیر زنده است. فاز دوم یک فاز تاخیری است که در آن کمی جذب خالص آب وجود دارد که شامل تبدیل بذر از حالت خواب به حالت جوانه‌زنی است یا و فاز III که در آن دانه‌ها مقدار قابل توجهی آب را جذب می‌کنند و با بیرون-زدگی ریشه و رشد همراه است (Bewley and Black, 1994). پرایمینگ نوع خاصی از مرحله جوانه‌زنی آماده سازی است که شامل توقف رویدادهای جوانه‌زنی پس از فاز دوم است (Nonogaki *et al*., 2007). بذرهای پرایم شده در جذب مجدد آب، حالت انتقالی را شروع می‌کنند که منجر به بهبود پتانسیل جوانه‌زنی می‌شود که با درصد، سرعت و یکنواختی جوانه زنی بالاتر منعکس می‌شود (Myint *et al*., 2010).

شکل ۱- منحنی‌های هیدراتاسیون بذر و مراحل جوانه‌زنی در بذر بدون پرایم (خط پیوسته) و بذر پرایم شده (خط چین)

Fig 1- Seed hydration curves and germination stages in unprimed seeds (solid line) and primed seeds (dashed line)



هیدروپرایمینگ (Hydropriming): یک تکنیک سنتی است که بسیار مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست است زیرا به مواد شیمیایی اضافی به عنوان مواد اولیه نیاز ندارد. در بهبود سبز شدن مزرعه و همچنین تضمین گلدهی و برداشت زود هنگام تحت تنش‌های محیطی مختلف بسیار مؤثر است (Shivankar *et al*., 2003). مطالعات مختلف با خیساندن بذرها در مزرعه مشابه هیدروپرایمینگ (به جز مرحله آبگیری) افزایش قابل توجهی در سبز شدن و عملکرد در مقایسه با بذرهای غیرهیدراته نشان داده است (Carrillo-Reche *et al*., 2018). با وجود نکات مثبت، عدم قطعیت در مورد هیدراتاسیون همگن بذر و افزایش احتمال تکثیر میکروارگانیسم‌ها در طول مدت قرار گرفتن در

معرض رطوبت، این تکنیک را نادقیق می‌کند (Di Girolamo and Barbanti, 2012). با این وجود، به دلیل عملکرد ساده آن به عنوان یک تکنیک عملی عمل می‌شود.

اسموپرایمینگ (Osmopriming): اسموپرایمینگ شامل خیساندن دانه‌ها در محلول‌های با پتانسیل اسمزی پایین مانند گلیسرول، پلی اتیلن گلیکول، سوربیتول، مانیتول و نمک‌های معدنی است که جذب آب را تنظیم می‌کند (Lutts *et al*., 2016). بذرهای خیسانده شده در این محلول ها اجازه ورود تدریجی آب را از طریق جذب و در نتیجه شروع مرحله اولیه جوانه‌زنی می‌دهند، اگرچه همزمان از بیرون‌زدگی ریشه جلوگیری می‌کنند. در میان ترکیبات مختلف مورد استفاده برای اسموپرایمینگ، پلی اتیلن گلیکول بدلیل اندازه مولکولی بزرگ، بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نتیجه از ورود آن به دانه جلوگیری می‌کند. این امر از القای اثر سیتوتوکسیک بالقوه پلی اتیلن گلیکول و کاهش پتانسیل اسمزی در دانه جلوگیری می‌کند (Di Girolamo and Barbanti, 2012). با این حال، برخی از ویژگی‌های نامطلوب با استفاده از محلول پلی اتیلن گلیکول با ویسکوزیته بالا از جمله محدودیت انتشار اکسیژن در محلول همراه است (Paparella *et al*., 2015). بنابراین، غلظت بهینه پلی اتیلن گلیکول برای انتقال مناسب آب و اکسیژن به دانه‌ها ضروری است.

پرایمینگ هورمونی (Hormonal Priming): در پرایمینگ هورمونی، دانه‌ها در محلول‌های تنظیم کننده‌های مختلف رشد گیاه خیس می‌شوند به عنوان مثال کینتین، اسید سالیسیلیک، جیبرلین‌ها، اتیلن و پلی آمین‌ها که رشد و نمو نشاءها را تشویق می‌کنند.

هالوپرایمینگ (Halopriming): در هالوپرایمینگ، بذرها در محلول‌های نمکی مختلف مانند NaCl، KNO_3، $CaCl_2$، $CaSO_4$ و غیره غوطه‌ور می‌شوند که جوانه‌زنی بذر و سبز شدن زودرس نهال‌ها را حتی در شرایط نامساعد محیطی تسهیل می‌کنند (Robledo, 2020). این یک تکنیک کشاورزی آسان و مقرون به صرفه است که می‌تواند به دلیل توانایی آن در ارائه همزمانی بهتر ظهور دانه‌ها به کشاورزان توصیه شود (Sedghi *et al*., 2010).

پرایمینگ ماتریس جامد (Solid matrix priming): در پرایمینگ ماتریکس جامد، بذرها قبل از کاشت تحت تیمار هیدراتاسیون کنترل شده قرار می‌گیرند. در این، دانه‌ها با حامل جامد که پتانسیل ماتریکی پایینی دارد مخلوط می‌شوند و در نتیجه امکان جذب آب را فراهم می‌کنند (Paparella *et al*., 2015). پس از آن، بذرها به رطوبت طبیعی خود بر می‌گردند تا نگهداری و کاشت عادی آنها تسهیل شود (Mehta *et al*., 2013). ورمیکولیت لایه بردار، خاک رس کلسینه منبسط شده، ژل پلی پروپیونات سدیم، زغال سنگ نرم قیر، سیلیکات کلسیم مصنوعی، خاک اره، زغال چوب، خاکستر آتشفشانی، شن، ماسه جوت، ذرات خاک رس دانه بندی شده و برخی از زیر لایه‌های تجاری مانند میکروسل یا سلی از نمونه‌های جامد حامل‌های ماتریکس هستند و علاوه بر سهولت کار، SMP دارای چندین مزیت دیگر مانند ادغام عوامل شیمیایی یا بیولوژیکی مانند

Trichoderma spp برای بهبود عملکرد بذر است (Paparella *et al*., 2015).

پرایمینگ کودی(Nutripriming) تغذیه دانه‌ها با خیساندن در محلول‌های حاوی مواد مغذی درشت یا ریز (Farooq *et al*., 2012) شامل مزیت هم افزایی اثر بیوشیمیایی پرایمینگ با آب و اثر تغذیه ای ماده مغذی مورد استفاده است. این یک روش ساده، مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست است (Rehman *et al*., 2018)، این را می‌توان با استفاده از یک ماده مغذی منفرد یا با ترکیبی از مواد مغذی انجام داد، که، دومی به عنوان پرایمینگ بذر مغذی وسیع الطیف (BSN) نامیده می‌شود که در آن ترکیبی از مواد معدنی مانند فسفر، منگنز، مس و روی استفاده می‌شود.

بیوپرایمینگ (Biopriming): در بیوپرایمینگ بذر، ترکیبی از هیدراتاسیون بذر و یک تیمار بیولوژیکی شامل افزودن تلقیح باکتری زنده به محیط وجود دارد (Mahmood *et al*., 2016). در این فرآیند، ریزوباکترهای محرک رشد گیاه مانند ازتوباکتر، سودوموناس، آزوسپیریلوم، باسیلوس و آگروباکتریوم. قارچ‌کش‌ها و عوامل کنترل زیستی به محیط‌های پرایمینگ اضافه می‌شوند، در نتیجه تحمل در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی را علاوه بر بهبود بذر تسهیل می‌کنند. این یک رویکرد سازگار با محیط زیست برای تحریک رشد گیاه با تولید مواد محرک رشد گیاه است که جذب مواد مغذی را افزایش می‌دهد یا از نشاءها/گیاهان در برابر ارگانیسم‌های بیماری‌زای گیاهی موجود در خاک/دانه محافظت می‌کند. بیوپرایمینگ بذر جایگزین مناسبی برای تیمار بذر مانند پلت کردن و پوشش فیلم ارائه می‌دهد، زیرا تکثیر مداوم میکروب‌ها منجر به تشکیل یک بیوفیلم در اطراف ریشه‌ها می شود که از گیاهان در برابر عوامل بیماری‌زا ناشی از خاک در طول مراحل رشد محافظت می‌کند. بیوپرایمینگ میکروبی موجب ایجاد مقاومت سیستمیک در گیاهان برای محافظت در برابر عفونت‌های باکتریایی و قارچی در طول مراحل پیشرفته رشد و نمو می‌شود (Rajendra Prasad *et al*., 2016).

نانو پرایمینگ (Nanopriming): نانوپرایمینگ یک تکنیک جدید و ابتکاری برای بهبود جوانه‌زنی، بنیه و رشد گیاهچه‌ها از طریق استفاده از نانوذرات (NPs) مانند نانوذرات مبتنی بر فلز (مانند AgNPs، AuNPs، CuNPs، FeNPs، FeS2NPs، TiO2NPs و نانوذرات مبتنی بر کربن است (Panda and Mondal. 2020; Mazhar *et al*., 2022). در نانو پرایمینگ، بذرها خشک نمی‌شوند، از این رو با سایر تکنیک-های بذر قبل از کاشت متفاوت است. نانوذرات سبز را می‌توان از طریق روش‌های آزمایشگاهی تولید کرد که در آن از عصاره‌های گیاهی برای کاهش زیستی یون‌های فلزی برای تشکیل نانوذرات استفاده می‌شود. این رویکرد ارزان و با استفاده از عصاره‌های انواع گونه‌های گیاهی در ترکیب با اسیدها و نمک‌های مختلف فلزات مانند Cu، Au، Ag، Fe و Pt نشان داده شده است (Makarov *et al*., 2014; Khalaki *et al*., 2021). نانوذرات سبز طلا و نقره **در** بهبود عملکرد دانه‌ها از طریق پرایمینگ بسیار موثر شناخته شده اند.

روش‌های غیرتهاجمی پرایمینگ بذر برای افزایش تولید محصول

روش‌های فیزیکی پرایمینگ بذر مانند مگنتوپرایمینگ، اشعه ماوراء بنفش (UV)، پرتوهای گاما (γ)، پرتو الکترونی، پلاسمای سرد اتمسفر، پرتو الکترونی کم انرژی و پرایمینگ لیزری مزایای مختلفی نسبت به روش های مرسوم پرایمینگ بذر دارند (Araújo *et al*., 2016). روش‌های فیزیکی پرایمینگ بذر اثرات مختلفی از ویژگی‌های مورفو ساختاری گرفته تا تغییرات در بیان ژن و تجمع متابولیت‌ها بر دانه‌ها اعمال می‌کنند(Thakur *et al*., 2022).

مگنتوپرایمینگ (Magnetopriming): در مگنتوپرایمینگ بذرها با میدان‌های مغناطیسی ایستا، نوسانی و با فرکانس پایین تیمار می‌شوند که موجب گرم شدن بافت‌های بیولوژیکی نمی‌شود. پاسخ دانه‌ها به شدت میدان مغناطیسی، زمان نوردهی، شکل سیگنال، چگالی و فرکانس منبع بستگی دارد. محققان مختلف گزارش کرده‌اند که مگنتوپرایمینگ با موفقیت جوانه‌زنی، بنیه، رشد و عملکرد محصولات گیاهی را افزایش می‌دهد (Thakur *et al*., 2020; Razmjoo and Alinian. 2017; Bhardwaj *et al*., 2016).

پرایمینگ تابش (UV irradiation priming): بر اساس طول موج، پرتوهای UV به سه دسته تقسیم می شوند UV-A 320-400 نانومتر، UV-B 280-320 نانومتر و UV-C 200-280 نانومتر. گزارش شده است که پرایمینگ UV از دانه‌ها و نشاءها تحمل استرس را در سویا و توت فرنگی بهبود بخشیدند (Dillon *et al*., 2018). در لوبیا چشم بلبلی، دوزهای پایین اشعه ماوراء بنفش باعث ایجاد تغییرات مورفوفیزیولوژیکی مختلف مانند افزایش سرعت جوانه‌زنی، فتوسنتز و تجمع زیست توده شد (Thomas and Puthur, 2017).

پرایمینگ تابشی γ (Gamma radiation priming): پرایمینگ پرتو گاما شامل تیمار بذرها با دوزهای پایین پرتوهای گامای یونیزان پرانرژی است. این پرتوها دارای قدرت نفوذ بالایی هستند که در نتیجه به طور مستقیم با چندین جزء سلولی بافت‌های زنده تعامل دارند. این فعل و انفعالات پرتوهای گاما بر اسیدهای نوکلئیک، غشای سلولی و پروتئین‌ها تأثیر می‌گذارد (Majeed *et al*., 2018). پرتوهای گاما در دوزهای پایین به عنوان یک عامل آغازگر عمل می‌کنند که منجر به بهبود جوانه‌زنی و استقرار نهال‌ها در شرایط بهینه و غیربهینه می‌شود (Farooq *et al*., 2019). در سطح سلولی، دوزهای پایین پرتوهای گاما، تکثیر سلولی، رشد، و تحمل استرس را افزایش می‌دهد که منجر به افزایش رشد و تولید محصول می‌شود (Jan *et al*., 2012; Beyaz *et al*., 2016). دوزهای کم اشعه گاما به طور قابل توجهی سیستم ریشه را در نخود افزایش داد (Melki and Sallami, 2008). با این حال، مکانیسم‌های بیوشیمیایی، مولکولی و درون سلولی زیربنای اثرات مفید پرایمینگ بذر با واسطه پرتوهای گاما هنوز قابل بحث است. یکی از مکانیسم‌های احتمالی این است که قرار گرفتن دانه‌ها در معرض پرتوهای گاما منجر به افزایش تولید ROS می‌شود که به عنوان مولکول‌های سیگنال برای برانگیختن پاسخ آنتی

اکسیدانی عمل می‌کنند. فعال شدن پاسخ آنتی اکسیدانی منجر به کاهش عوامل استرس مانند نوسانات دما، تنش نور و از دست دادن آب در طول رشد گیاه می شود (Gicquel *et al*., 2012; Qi *et al*., 2015).

پرایمینگ پلاسمای اتمسفر سرد (Cold atmospheric plasma (CAP) priming): پرایمینگ بذر با پلاسمای سرد یک فناوری نسبتاً جدید است که برای بهبود جوانه‌زنی، بنیه گیاهچه و همچنین برای رفع آلودگی گیاهان سبزی استفاده می‌شود. پلاسمای اتمسفر سرد / پلاسمای سرد / پلاسمای غیر حرارتی شامل مخلوط گاز یونیزه شده، الکترون، ذره با بار مثبت و گاز خنثی است. پلاسمای اتمسفر سرد زمانی تولید می‌شود که یک مولکول گاز از انرژی خارجی برای غلبه بر سد پتانسیل الکترواستاتیک استفاده می‌کند تا یونیزه شود. پلاسمای سرد به طور گسترده در علوم زیستی کاربرد دارد زیرا حاوی ذرات قابل توجهی با دمای پایین تر در مقایسه با الکترون است (Yan *et al*., 2017). پلاسمای اتمسفر سرد، انواع گونه‌های اکسیژن/نیتروژن فعال ROS و RNS را ایجاد می‌کند که با پوشش دانه تعامل می‌کنند و باعث ایجاد ترک‌هایی در سطح می‌شوند که به جذب آب کمک می‌کنند (Zhou *et al*., 2011). این امر منجر به رهاسازی خواب و روند سریعتر جوانه‌زنی بذر می‌شود.

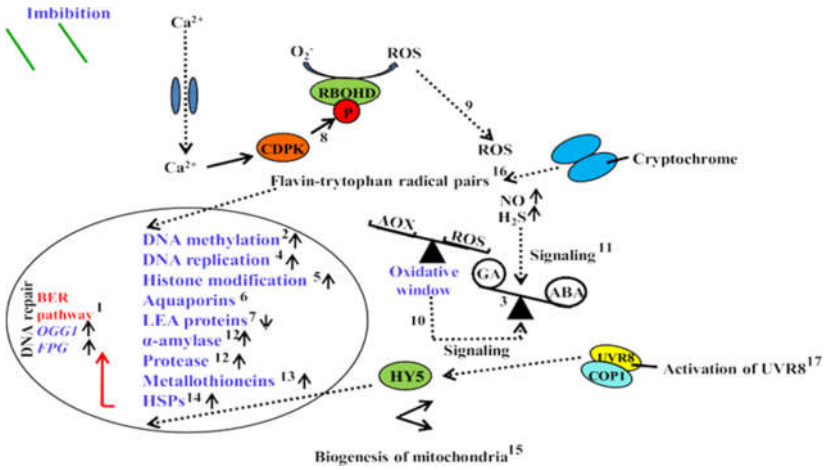
پرایم الکترونی کم انرژی (Low energy electron beam (LEEB) priming): تیمار بذر با پرتوهای الکترونی کم انرژی الکترون‌های شتاب‌دار یک روش غیر حرارتی است که برای آلودگی‌زدایی بذر استفاده می‌شود. علاوه بر این، جوانه زنی بذر و همچنین رشد گیاهچه را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد (Waskow *et al*., 2021). پرتوهای الکترونی کم انرژی شکلی از تابش یونیزان است که در محدوده چند تا تقریباً ۳۰۰ کیلوگری اعمال می‌شود. پرتوهای الکترونی کم انرژی با عمل الکترون‌های شتاب‌دار برای حذف الکترون‌ها از اتم‌ها یا مولکول‌ها، یون‌ها را تولید می‌کند (Lung *et al*., 2015). بنابراین، یک کاتد در یک محیط خلاء مورد نیاز است تا الکترون‌هایی تولید کند که در طول تابش پرتو الکترونی به سرعت نور شتاب می‌گیرند. محققین از تیمار LEEB برای ضد عفونی گندم در کشاورزی بیولوژیکی استفاده کردند (Hertwig *et al*., 2018). محققان مشاهده کردند که آماده سازی دانه‌های گندم با LEEB تأثیر مثبتی بر ظرفیت جوانه‌زنی آنها دارد (Sitton *et al*., 1995). با این حال، در مطالعه دیگری، دوزهای پایین پرتو الکترونی بر ظرفیت جوانه‌زنی بذر شبدر، ماش و بذر شنبلیله تأثیری نداشت (Fan *et al*., 2017).

پرایمینگ لیزری (Laser priming): پرایمینگ بذر با شدت کم نور لیزر یک اثر تعدیل زیستی نوری اعمال می‌کند (Chen *et al*., 2005) که بر اساس هم افزایی بین گیرنده‌های نوری و پرتوهای لیزر تک رنگ قطبی شده است (Perveen *et al*., 2010). بذرها وقتی با نور لیزر کم شدت تابش می‌شوند، باعث تحریک زیستی آنها می‌شوند که جوانه‌زنی بذر، توده رویشی، فتوسنتز و عملکرد محصول را افزایش می‌دهد (Swathy *et al*., 2021). پرایم لیزری

شامل جذب انرژی نور توسط بذر است که بیشتر به انرژی شیمیایی تبدیل می شود که برای رشد و نمو استفاده می‌شود (Joshi *et al*., 2012). پرایمینگ لیزری بذرها باعث تحریک رشد گیاه، کاهش زمان جوانه‌زنی می‌شود که در نهایت منجر به افزایش عملکرد می‌شود (Abbas *et al*., 2017).

تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در آماده سازی بذر

سطح مولکولی و سلولی: اثرات سودمند تکنیک‌های پرایمینگ بذر روی محصولات را می‌توان به تغییرات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی در سطح سلولی نسبت داد (شکل ۲). در طول بلوغ/ذخیره بذر، میزان رطوبت بذر کاهش می‌یابد که ترکیب آن را تغییر می‌دهد رطوبت نقش مهمی در تنظیم یکپارچگی DNA و پروتئین ایفا می‌کند. پرایمینگ کروماتین آسیب دیده را با حفظ ساختار آن از طریق تغییرات پس از ترجمه هیستون‌ها، متیلاسیون DNA و گلیکاسیون پروتئین با افزودن قندهای کاهنده به گروه‌های آمینه در پروتئین‌ها نجات می‌دهد (Forti *et al*., 2020). دانشمندان گزارش کرده‌اند که پرایمینگ بذر باعث احیای یکپارچگی ژنوم در بسیاری از گونه‌های گیاهی می‌شود (Kiran *et al*., 2020). پرایمینگ ترمیم DNA هسته‌ای در جنین تره فرنگی را تسهیل کرد (Pijlen *et al*., 1996). علاوه بر ترمیم DNA، پرایمینگ فرآیند همانندسازی را نیز آغاز می‌کند. در طول پرایمینگ بذر، اجزای تشکیل دهنده میکروتوبول‌ها، یعنی زیرواحدهای α و β توبولین که در تقسیم سلولی و حفظ اسکلت سلولی نقش دارند، افزایش می‌یابد. بنابراین، پرایمینگ بذر منجر به افزایش تکثیر DNA و پیشبرد چرخه سلولی از فاز G1به G2 قبل از توقف آن در این مرحله می‌شود (O¨zbingo¨l *et al*., 1999). فرآیند پرایمینگ معمولی تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مشابهی را نشان می‌دهد که در طول فرآیند جوانه‌زنی تجربه می‌شود. بنابراین، مسیرهای سیگنالینگ که در طول جوانه‌زنی تنظیم می‌شوند نیز انتظار می‌رود در طول پرایمینگ ایجاد شوند. به خوبی شناخته شده است که تعادل هورمونی به نفع GA/ABA مسئول شکستن خواب و شروع جوانه‌زنی است (Rodríguez-Gacio *et al*., 2009). مطالعه منحنی هیدراتاسیون بذر، بذرهای پرایم شده و بدون پرایم جذب آب سریعتر توسط بذرهای پرایم شده را نشان می‌دهد که به دنبال جوانه‌زنی سریعتر آنها در مقایسه با بذرهای بدون پرایم شده است. در دانه‌ها، حرکت آب توسط پروتئین‌های کانال آب به نام آکواپورین (AQP)، غشای پلاسمایی (PIP) و تونوپلاس (TIP) آکواپورین تسهیل می‌شود. نقش آکواپورین‌ها در جوانه‌زنی بذر توسط چندین محقق گزارش شده است. محققان مشاهده کردند که آکواپورین‌ها در دانه‌های خشک وجود نداشتند اما زمانی که دانه‌ها تحت تیمارهای پرایمینگ مرطوب قرار گرفتند فعال شدند (Willigen *et al*., 2006).



شکل ۲- مکانیسم‌های زیربنایی تغییرات ناشی از پرایمینگ بذر مانند جوانه‌زنی سریع‌تر و بهبود پاسخ بنیه بذر در تیمارهای تهاجمی و غیرتهاجمی

Fig 2- Mechanisms underlying the changes caused by seed priming such as faster germination and improved seed germ response in aggressive and non-aggressive treatments.

هم تیمارهای پرایمینگ و هم رویدادهای جوانه زنی در مرحله دوم شامل یک تغییر انرژی محور در متابولیسم بذر است. در سبزیجاتی مانند گوجه‌فرنگی، بادمجان، اسفناج و کلم، تیمارهای پرایمینگ تنفس را تحریک کردند تا مخزن ATP تولید شود (Corbineau *et al.*, 2000). هموستاز ROSیک پدیده جدایی ناپذیر است که هم در دانه-های پرایم شده معمولی و هم غیر متعارف رخ می-دهد (Barba-Espin *et al.*, 2011). متابولیسم H_2O_2 که سیگنال‌دهی اکسیداتیو را کنترل می‌کند به شدت با سایر ROS و مولکول‌های سیگنال‌دهنده مانند اکسید نیتریک (NO) و سولفید هیدروژن (H_2S) که انتقال بذر از مرحله خواب به مرحله جوانه‌زنی را تنظیم می‌کنند، مرتبط است (Wojtyla *et al.*, 2016). از آنجایی که پرایمینگ بذر، بذر را برای شروع جوانه-زنی آماده می‌کند، متابولیسم ذخایر بذر در مقایسه با ذخایر بدون پرایم سریعتر است. افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در تنفس و کاتابولیسم نشاسته، پروتئین‌ها و لیپیدها منجر به حرکت سریع‌تر محصولات جانبی کوچکتر به سمت گیاهچه در حال رشد می‌شود (Rosental *et al.*, 2014; Thakur *et al.*, 2020).

نتیجه‌گیری کلی

تولید سبزیجات تجاری یک بخش سازمان یافته با/بدون نیاز اولیه نشا برای کشت محصولات سبزیجات است. علاوه بر محصولات مستقیم بذر مانند کدو، بامیه، هویج، تربچه، سبزیجات برگدار (اسفناج و کاهو) و غیره روش سنتی پرورش نشاء در خزانه برای پیوند سبزیجاتی مانند گوجه فرنگی، فلفل قرمز، فلفل دلمه ای، پیاز و غیره است. به طور گسترده ای برای رشد محصولات استفاده می شود. عیب روش سنتی این است که همه نشاء ها برای انتقال مناسب نیستند، زیرا غیریکنواخت هستند و دیرتر ظاهر می‌شوند. بنابراین انتخاب نشاءهای سالم منجر به تلفات ناشی از دور ریختن نشاء های ضعیف می‌شود. این نگرانی را می توان از طریق

پرایمینگ بذرها، قبل از پرورش آنها در خزانه یا سینی‌های نشاء برطرف کرد، به ویژه در مورد محصولات ویژه با ارزش بالا یا گونه های تریپلوئید بدون دانه از گیاهان مانند هندوانه که دارای ذخایر بذر ضعیفی برای حمایت از سبز شدن نشاء در مرحله استقرار هستند. بنابراین آماده سازی بذر مزایای مختلفی را در برنامه ریزی و رشد ارائه می‌دهد که می‌تواند به طور مناسب در بهبود بهره‌وری محصولات سبزیجات استفاده شود.

منابع

1) Abbas, M., Arshad, M., Nisar, N, Nisar, J, Ghaffar, A. and A, Nazir. 2017. Muscilage characterization, biochemical and enzymatic activities of laser irradiated *Lagenaria siceraria* seedlings. *Journal of Photochemistry and Photobiology B*: 173: 344–352.

2) Acharya, P., Jayaprakasha, G.K. and K.M, Crosby. 2020. Nanoparticle-mediated seed priming improves germination, growth, yield, and quality of watermelons (*Citrullus lanatus*) at multi-locations in Texas. *Scientific Reports*. 10: 5037.

3) Araújo, S.S., Paparella, S., Dondi, D., Bentivoglio, A., Carbonera, D. and A, Balestrazzi. 2016. Physical methods for seed invigoration: advantages and challenges in seed technology. *Frontiers in Plant Science*. 7: 646.

4) Barba-Espin, G., Diaz-Vivancos, P., Job, D., Belghazi, M., Job, C. and J.A, Hernandez. 2011. Understanding the role of H_2O_2 during pea seed germination: a combined proteomic and hormone profiling approach. *Plant Cell Environ*. 34: 1907–1919.

5) Bewley, J.D. and M, Black. 1994. Seeds: Physiology of Development and Germination, 2nd edn. Plenum Press, New York.

6) Beyaz, R., Kahramanogullari, C.T., Yildiz, C., Darcin, E.S. and M, Yildiz. 2016. The effect of gamma radiation on seed germination and seedling growth of *Lathyrus chrysanthus* Boiss. Under in vitro conditions. *Journal of Environmental Radioactivity*. 162-163, 1–5.

7) Bhardwaj, J., Anand, A., Pandita, V.K. and S, Nagarajan. 2016. Pulsed magnetic field improves seed quality of aged green pea seeds by homeostasis of free radical content. *Journal of Food Science and Technology*. 53 (11): 3969–3977.

8) Carrillo-Reche, J., Vallejo-Marín, M. and R.S, Quilliam. 2018. Quantifying the potential of 'on-farm' seed priming to increase crop performance in developing countries. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*. 38, 64.

9) Chen, Y.P., Liu, Y.J., Wang, X.L., Ren, Z.Y. and M, Yue. 2005. Effect of microwave and HeNe laser on enzyme activity and biophoton emission of Isatis indigotica Fort. *Journal of Integrative Plant Biology*. 47: 849–855.

10) Corbineau, F., Ozbincol, N., Vinel, D. and D, Come. 2000. Improvement of tomato seed germination by osmopriming as related to energy metabolism. In: Black, M., Bradford, K.J., Vazquez-Ramos, J. (Eds.), Seed Biology: Advances and Applications. CABI, OXon, UK, pp. 467–487.

11) Di Girolamo, G. and L, Barbanti. 2012. Treatment conditions and biochemical processes influencing seed priming effectiveness. *Italian Journal of Agronomy*. 7: 178–188.

12) Dillon, F.M., Tejedor, M.D., Ilina, N., Chludil, H.D., Mitho¨fer, A., Pagano, E.A. and J.A, Zavala. 2018. Solar UV-B radiation and ethylene play a key role in modulating

effective defenses against Anticarsia gemmatalis larvae in field-grown soybean. *Plant, Cell and Environment*. 41, 383–394.
13) Fan, X., Sokorai, K., Weidauer, A., Gotzmann, G., Rogner, F.-H. and E, Koch. 2017. Comparison of gamma and electron beam irradiation in reducing populations of *E. coli* artificially inoculated on mung bean, clover and fenugreek seeds, and affecting germination and growth of seeds. *Radiation Physics and Chemistry*. 130: 306–315.
14) Farooq, M., Usman, M., Nadeem, F., ur Rehman, H., Wahid, A., Basra, S.M.A. and K.H.M, Siddique. 2019. Seed priming in field crops: potential benefits, adoption and challenges. *Crop & Pasture Science*. 70: 731–771.
15) Farooq, M., Basra, S.M.A., Tabassum, R. and I, Afzal. 2006. Enhancing the performance of direct seeded fine rice by seed priming. *Plant Production Science*. 9 (4): 446–456.
16) Farooq, M., Wahid, A. and K.H.M, Siddique. 2012. Micronutrient application through seed treatments-a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 12: 125–142.
17) Forti, C., Ottobrino, V. and L, Bassolino. 2020. Molecular dynamics of pre-germinative metabolism in primed eggplant (*Solanum melongena* L.) seeds. *Horticulture Research*. 7, 87.
18) Gicquel, M., Taconnat, L., Renou, J.P., Esnault, M.A. and F, Cabello-Hurtado. 2012. Kinetic transcriptomic approach revealed metabolic pathways and genotoXic-related changes implied in the Arabidopsis response to ionizing radiations. *Plant Science*. 195: 106–119.
19) Hertwig, C, Meneses, N. and A, Mathys. 2018. Cold atmospheric pressure plasma and low energy electron beam as alternative nonthermal decontamination technologies for dry food surfaces: a review. *Trends in Food Science and Technology*. 77: 131–142.
20) Jan, S., Parween, T., Siddiqi, T.O., and M, Uzzafar. 2012. Effect of gamma radiation on morphological, biochemical and physiological aspects of plants and plant products. *Environmental Reviews*. 20: 17–39.
21) Joshi, S., Joshi, G. and H, Agrawal. 2012. Study on the effect of laser irradiation on wheat (*Triticum aestivum* L.) variety PBW-373 seeds on zinc uptake by wheat plants. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 294: 391–394.
22) Khalaki, M.A., Asgari, M.M., Lajayer, B.A. and A, Tess. 2021. Influence of nano-priming on seed germination and plant growth of forage and medicinal plants. *Plant Growth Regulation*. 93: 13–28.
23) Kiran, K.R., Deepika, V.B., Swathy, P.S., Prasad, K., Kabekkodu, S.P., Murali, T.S., Satyamoorthy, K. and A, Muthusamy. 2020. ROS-dependent DNA damage and repair during germination of NaCl primed seeds. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 213: 112050.
24) Lung, H.M., Cheng, Y.C., Chang, Y.H. and H.W, Huang, 2015. Microbial decontamination of food by electron beam irradiation. *Trends in Food Science and Technology*. 44: 66–78.
25) Lutts, S., Benincasa, P., Wojtyla, L., Szymon Kubala, S., Pace, R., Lechowska, K., Quinet, M. and M, Garnczarska. 2016. Seed priming: new comprehensive approaches for an old empirical technique. New challenges in seed biology basic and translational research driving seed technology. IntechOpen.
26) Mahmood, A., Turgay, O., Farooq, M. and R, Hayat. 2016. Seed

35) O¨ zbingo¨l, N., Corbineau, F., Groot, S.P.C., Bino, R.J. and D, Coˆme. 1999. Activation of the cell cycle in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seeds during osmoconditioning as related to temperature and Oxygen. *Annals of Botany*. 84: 245–251.
36) Panda, D. and S, Mondal. 2020. Seed enhancement for sustainable agriculture: an overview of recent trends. *Plant Arch*. 20, 2320–2332.
37) Paparella, S., Araújo, S.S., Rossi, G., Wijayasinghe, M., Carbonera, D. and A, Balestrazzi. 2015. Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant Cell Reports*. 34 (8): 1281–1293.
38) Perveen, R., Ali, Q., Ashraf, M., Al-Qurainy, F., Jamil, Y. and M, Raza Ahmad. 2010. Effects of different doses of low power continuous wave he-ne laser radiation on some seed thermodynamic and germination parameters, and potential enzymes involved in seed germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Photochemistry and Photobiology*. 86 (5): 1050–1055.
39) Qi, W., Zhang, L., Wang, L., Xu, H., Jin, Q. and Z, Jiao. 2015. Pretreatment with low-dose gamma irradiation enhances tolerance to the stress of cadmium and lead in *Arabidopsis thaliana* seedlings. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 115: 243–249.
40) Rajendra Prasad, S., Kamble, U.R. and KV, Sripathy. 2016. Seed bio-priming for biotic and abiotic stress management. Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity.
41) Razmjoo, J. and S, Alinian. 2017. Influence of magnetopriming on germination, growth, physiology, oil and essential contents of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Electromagnetic Biology and Medicine*. 36: 325–329.
biopriming with plant growth promoting rhizobacteria: a review. FEMS Microbiology Ecology. 92, fiw112.
27) Majeed, A., Muhammad, Z., Ullah, R. and H, Ali. 2018. Gamma irradiation: effect on germination and general growth characteristics of plants–a review. *Pakistan Journal of Botany*. 50: 2449–2453.
28) Makarov, V.V., Love, A.J., Sinitsyna, O.V. and S.S, Makarova. 2014. Green" nanotechnologies: synthesis of metal nanoparticles using plants. *Acta Naturae*. 6 (1): 35–44.
29) Mazhar, M.W., Ishtiaq, M., Hussain, I., Parveen, A., Hayat, B.K., and M, Azeem. 2022. Seed nano-priming with Zinc OXide nanoparticles in rice mitigates drought and enhances agronomic profile. *PLoS ONE* 17 (3): e0264967.
30) McDonald, M.B. 2000. Seed Priming. Seed Technology and its Biological Basis. Sheffield Academic Press, Sheffield, pp. 287–325.
31) Mehta, D.K., Thakur, C. and K.S, Thakur. 2013. Effect of solid matrix priming of seed on emergence, growth and yield of cucumber. *Green Farming* 4 (3): 364–366
32) Melki, M., and D, Sallami, 2008. Studies the effects of low dose of gamma rays on the behaviour of chickpea under various conditions. *Pakistan journal of biological sciences*. 11: 2326–2330.
33) Myint, T., Chanprasert, W. and S, Srikul. 2010. Effect of seed weight on germination potential of different oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) crosses. *Seed Science and Technology*. 58: 125–135.
34) Nonogaki, H., Chen, F. and K.J, Bradford. 2007. Mechanisms and genes involved in germination sensu strict. In: Bradford, K.J., Nonogaki, H. (Eds.), Seed Development, Dormancy and Germination. Blackwell, OXford, pp. 264–304.

42) Rehman, A., Farooq, M., Naveed, M., Nawaz, A. and B, Shahzad. 2018. Seed priming of Zn with endophytic bacteria improves the productivity and grain biofortification of bread wheat. *European Journal of Agronomy*. 94: 98–107.
43) Robledo, D.A.R. 2020. Effects of halopriming on seed germination and seedling emergence of *Capsicum frutescens*. *Journal of Botany Research*. 3 (1): 114–118.
44) Rodríguez-Gacio, M., Matilla-V´azquez, M.A. and AJ, Matilla. 2009. Seed dormancy and ABA signaling: the breakthrough goes on. *Plant Signaling & Behavior*. 4 (11): 1035–1049.
45) Rosental, L., Nonogaki, H. and A, Fait, 2014. Activation and regulation of primary metabolism during seed germination. *Seed Science Research*. 24: 1–15.
46) Sedghi, M., Nemati, A., Amanpour-Balaneji, B. and A, Gholipouri. 2010. Influence of different priming materials on germination and seedling establishment of milk thistle (*Silybum marianum*) under salinity stress. *World Applied Sciences Journal*. 11: 604–609.
47) Shivankar, R.S., Deore, D.B. and N.G, Zode. 2003. Effect of pre-sowing seed treatment on establishment and seed yield of sunflower. *Journal of Oilseeds Research*. 20: 299–300.
48) Sitton, J.W., Borsa, J., Schultz, T. and J.D, Maguire. 1995. Electron beam irradiation effects on wheat quality, seed vigor, and viability and pathogenicity of teliospores of *Tilletia controversa* and *T. tritici*. *Plant Disease*. 79: 586–589.
49) Swathy, P.S., Kiran, K.R. and M.B, Joshi. 2021. He-Ne laser accelerates seed germination by modulating growth hormones and reprogramming metabolism in brinjal. *Scientific Reports*. 11: 7948.
50) Thakur, M., Sharma, P., Anand, A., Pandita, V.K., Bhatia, A. and S, Pushkar. 2020. Raffinose and hexose sugar content during germination are related to infrared thermal fingerprints of primed onion (*Allium cepa* L.) seeds. *Frontiers in Plant Science*. 11: 579037.
51) Thakur, M., Tiwari, S., Sunita Kataria, S. and Anand, A. 2022. Recent advances in seed priming strategies for enhancing planting value of vegetable seeds. Scientia Horticulturae 305: 111355.
52) Thomas, T.T. and JT, Puthur. 2017. UV radiation priming: A means of amplifying the inherent potential for abiotic stress tolerance in crop plants. *Environmental and Experimental Botany*. 138: 57–66.
53) van Pijlen, J.G., Groot, S.P.C., Kraak, H.L., Bergervoet, J.H.W. and RJ, Bino. 1996. Effects of pre-storage hydration and controlled deterioration treatments on germination performance, moisture content and DNA synthesis of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seeds. *Seed Science Research*. 6: 57–63.
54) Waskow, A., Howling, A. and I, Furno. 2021. Mechanisms of plasma-seed treatments as a potential seed processing technology. *Frontiers in Physics*. 9; 617345.
55) Willigen, V.C., Postaire, O., Tournaire-RouX, C., Boursiac, Y., and C, Maurel. 2006. EXpression and inhibition of aquaporins in germinating Arabidopsis seeds. *Plant and Cell Physiology* 47: 1241–1250.
56) Wojtyla, Ł., Lechowska, K., Kubala, S., and M, Garnczarska. 2016. Different modes of hydrogen peroXide action during seed germination. *Frontiers in Plant Science*. 7: 66.

57) Yan, D., Sherman, J.H. and M, Keidar. 2017. Cold atmospheric plasma, a novel promising anticancer treatment modality. *Oncotarget* 8: 15977–15995.
58) Zhou, Y., Chu, P. and H, Chen, 2012. Overexpression of Nelumbo nucifera metallothioneins 2a and 3 enhances seed germination vigor in *Arabidopsis*. *Planta* 235: 523–537.