

The effect of foliar spray of different calcium sources on growth, yield, and quality of celery (*Apium graveolens* var. dulce)

Mohammad Rasoul Pourebrahim Shelmani¹, Fatemeh Nekounam^{*2}, Zahra Ghahremani³, Leila Nadirkhanlou¹

1- M.Sc. Graduate, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

3- Associate Professor, Department of Horticulture Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

*Corresponding author: nekounam@znu.ac.ir

(Received: 23 September 2024

Revised: 17 October 2024

Accepted: 26 October 2024)

Extended Abstract

- 1. Introduction:** Celery (*Apium graveolens* L.) is a high-value vegetable belonging to the Apiaceae family, widely consumed for its long, fibrous petioles and nutrient-rich leaves. Calcium (Ca) is an essential macronutrient that plays a fundamental role in maintaining cell wall stability, membrane integrity, and determining overall postharvest quality. While plant roots can absorb calcium from the soil, the low mobility of Ca within the plant's vascular system often leads to localized deficiencies, particularly in younger, rapidly growing tissues with low transpiration rates. Such deficiencies frequently manifest as physiological disorders like black heart. Foliar application of soluble calcium salts has emerged as a highly effective alternative to overcome soil-to-shoot transport limitations. However, the efficacy of this method is significantly influenced by the chemical source and the specific dosage applied. To our knowledge, research comparing the effectiveness of various calcium sources specifically on celery remains limited. Therefore, this study was conducted to investigate the influence of different foliar calcium sources and concentrations on the growth, yield, and quality attributes of celery.
- 2. Materials and Methods:** The experiment was conducted as a randomized complete block design with three replications to evaluate the effects of various calcium sources on celery growth, yield, and quality. The treatments included different concentrations of calcium nitrate ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; 10 and 15 g L⁻¹), calcium chloride (CaCl_2 ; 5 and 10 g L⁻¹), and calcium lactate ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{CaO}_6$; 1 and 2 g L⁻¹). Foliar sprays were applied at the 5th–6th true leaf stage and repeated three times at 15-day intervals using a mechanical mist sprayer to ensure uniform coverage—distilled water served as the control. Standard agronomic practices, including weed management, were strictly carried out in accordance with the recommended package of practices throughout the entire crop growth cycle. Key parameters measured included plant height, petiole length, leaf number per plant, total plant yield, total chlorophyll content, carotenoid content, ascorbic acid (vitamin C), total phenols, and flavonoid contents. Additionally, the incidence and severity of physiological disorder symptoms (black heart and petiole pithiness) and Ca concentrations in both internal and external leaves were recorded. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using SAS statistical software, and treatment means were compared using Duncan's multiple range test at $P=0.05$.
- 3. Results and Discussion:** The results demonstrated that foliar application of various calcium sources significantly enhanced the growth and quality parameters of celery compared to the control. The highest plant height (67.33 cm), petiole length (30.3 cm), leaf number per plant (25.26), and total plant yield (91,110 kg ha⁻¹) were significantly achieved through the application of 10 g L⁻¹ CaCl_2 , representing a substantial improvement over the control plants. The superior performance of CaCl_2 at this concentration may be attributed to the high solubility of the chloride form and its specific role in promoting leaf expansion and cellular turgor. Furthermore, the chloride ion may also contribute to better osmotic adjustment within the petiole tissues, which is essential for rapid vegetative growth in celery. Regarding biochemical quality, the foliar application of 15 g L⁻¹ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ resulted in the maximum concentrations of total chlorophyll (2.87 mg g⁻¹ FW), carotenoids (0.72 mg g⁻¹ FW), and total phenols (40.7 mg 100g⁻¹ FW), alongside the highest calcium accumulation in internal leaves (4.04). The synergistic effect of nitrate and calcium in this treatment likely facilitates better nitrogen assimilation, which is a precursor for

chlorophyll biosynthesis and protein synthesis. The increase in phenolic compounds and flavonoids suggests that calcium application triggers secondary metabolic pathways, thereby improving the overall nutritional profile of the plant. Furthermore, the highest ascorbic acid (vitamin C) content was observed in plants treated with both 15 g L⁻¹ Ca(NO₃)₂ and 10 g L⁻¹ CaCl₂, indicating that these specific sources effectively boost the antioxidant capacity of the plant. Crucially, the foliar treatments significantly mitigated physiological disorders, specifically black heart and petiole pithiness, by ensuring higher calcium availability in the leaf tissues. This reduction in disorder symptoms is attributed to the role of Ca²⁺ in stabilizing cell membranes and reinforcing the structural integrity of the cell walls, which prevents the collapse of tissues during rapid growth. Since black heart is a classic calcium-deficiency disorder, the localized foliar delivery of calcium effectively bypasses the limited xylem mobility of Ca, ensuring that the rapidly expanding central leaves receive adequate nutritional support. The observed increase in antioxidant compounds suggests that calcium plays a critical role in modulating metabolic processes and enhancing the plant's defense mechanisms against oxidative stress and enzymatic degradation. Thus, the synergy between calcium uptake and the activation of metabolic pathways contributes to both improved yield and superior nutritional quality.

4. **Conclusion:** In conclusion, foliar application of calcium is an effective, practical strategy for improving celery performance. Specifically, the use of 15 g L⁻¹ Ca(NO₃)₂ is recommended for maximizing chlorophyll, phenolic, and antioxidant content, while 10 g L⁻¹ CaCl₂ is most effective for enhancing vegetative growth and total yield. Both treatments are highly efficient in reducing common physiological disorders such as black heart and petiole pithiness, thereby improving the overall commercial value of the crop. Future studies should focus on the economic feasibility and long-term storage quality of celery treated with these calcium sources.

Keywords: Black heart, Leaf number, Petiole length, Petiole pithiness, Vitamin C.

Citation: Pourebrahim Shelmani, M.R., Nekounam, F., Ghahremani, Z., & Nadirkhanlou, L. (2026). The effect of foliar spray of different calcium sources on growth, yield, and quality of celery (*Apium graveolens* var. dulce). *Journal of Vegetables Sciences*, 19(1), 109-126. doi:10.22034/iuvs.2024.2041594.1387

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



تأثیر محلول پاشی برگی منابع مختلف کلسیم بر رشد، عملکرد و کیفیت کرفس دمبرگی (*Apium graveolens* var. *dulce*)

محمد رسول پورابراهیم شلمانی^۱، فاطمه نکونام^{۲*}، زهرا قهرمانی^۳، لیلا ندیرخانلو^۱

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۳- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

*نویسنده مسئول: nekounam@znu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۵

چکیده

کرفس دمبرگی به دلیل حساسیت بالا به کمبود کلسیم و بروز ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی نظیر سیاه شدن مغز، با افت شدید کیفیت و ارزش تجاری مواجه است. در این پژوهش، تأثیر منابع و غلظت‌های مختلف کلسیم بر شاخص‌های رشد، عملکرد و کیفیت این گیاه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل محلول پاشی برگی لاکتات کلسیم (۱ و ۲ گرم بر لیتر)، کلرید کلسیم (۵ و ۱۰ گرم بر لیتر) و نیترات کلسیم (۱۰ و ۱۵ گرم بر لیتر) در مقایسه با شاهد (آب مقطر) بود. یافته‌ها نشان داد که کاربرد کلسیم تأثیر معناداری بر بهبود صفات رویشی و کیفی داشت؛ به‌طوری‌که بیشترین ارتفاع بوته (۶۷/۳۳ سانتی‌متر)، طول دمبرگ (۳۰/۳ سانتی‌متر)، تعداد دمبرگ (۲۵/۲ عدد) و عملکرد کل (۹۱۱۱۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۱۰ گرم بر لیتر کلرید کلسیم حاصل شد. بالاترین میزان کلروفیل، فنول کل و غلظت کلسیم در برگ‌های داخلی (۴/۰۴ درصد) با کاربرد ۱۵ گرم بر لیتر نیترات کلسیم به دست آمد. همچنین، تیمارهای مذکور (۱۵ گرم بر لیتر نیترات کلسیم و ۱۰ گرم بر لیتر کلرید کلسیم) بیشترین اثر را بر افزایش محتوای ویتامین ث داشتند. از نظر فیزیولوژیکی، تمامی منابع کلسیمی به‌کاررفته منجر به کاهش چشمگیر بروز ناهنجاری‌های سیاه شدن مغز و حفره‌ای شدن دمبرگ نسبت به شاهد شدند. در نهایت، با توجه به نتایج حاصل، محلول پاشی کلسیم (به‌ویژه غلظت‌های ۱۰ گرم بر لیتر کلرید کلسیم و ۱۵ گرم بر لیتر نیترات کلسیم) به‌عنوان راهکاری عملیاتی جهت تقویت شاخص‌های رشدی و کاهش اختلالات فیزیولوژیکی در کرفس دمبرگی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تعداد برگ، حفره‌ای شدن، سیاه شدن مغز، طول دمبرگ، ویتامین ث.

استناد: پورابراهیم شلمانی، م.ر.، نکونام، ف.، قهرمانی، ز. و ندیرخانلو، ل. (۱۴۰۵). تأثیر محلول پاشی برگی منابع مختلف کلسیم بر رشد، عملکرد و کیفیت کرفس دمبرگی (*Apium graveolens* var. *dulce*). علوم سبزی‌ها، ۱۹(۱)، ۱۰۹-۱۲۶.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترسی است.

مقدمه

کرفس دمبرگی با نام علمی *Apium graveolens* var. *dulce* گیاهی دو ساله متعلق به خانواده چتریان است که دارای مقادیر زیادی ویتامین A، B₂، B₆، ویتامین ث، فولیک اسید، پتاسیم، منگنز، فسفر، آهن و فیبر است. همچنین به دلیل دارا بودن ترکیباتی مانند اسید کافئیک، اسید کوماریک، اسید فرولیک، تانن، ساپونین و کامفرول دارای ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی قوی برای حذف رادیکال‌های آزاد می‌باشد که این ترکیبات ارزش تغذیه‌ای کرفس را دو چندان می‌کنند (Kooti et al., 2017).

کلسیم یک کاتیون دو ظرفیتی و عنصر غذایی حیاتی برای گیاه است که توسط سیستم ریشه به صورت کاتیون از محلول خاک جذب می‌شود (Ruiz et al., 2003). کلسیم در بسیاری از فرآیندهای طبیعی رشد و نمو از جمله تقسیم و رشد طولی سلول، پاسخ‌های واسطه‌ای به هورمون‌ها، به عنوان پیام‌رسان ثانویه در پاسخ به تنش‌های زیستی و غیرزیستی و به تاخیر انداختن پیری و افزایش عمر انبارداری محصولات باغبانی عمل می‌کند (Kader & Lindberg, 2010). کلسیم، یک عنصر غیر متحرک در سلول‌های گیاهی می‌باشد که از طریق آوند چوبی و به روش آپوپلاستی منتقل می‌شود. در واقع مشکل اصلی کلسیم، جذب آن توسط گیاه نیست، بلکه انتقال آن در داخل گیاه می‌باشد. مقدار جذب و حرکت یون کلسیم در آوندهای چوبی به طرف اندام مورد نیاز ارتباط مستقیمی با تبخیر و تعرق از سطح اندام‌های گیاه دارد به عبارتی جذب کلسیم به روش غیرفعال انجام می‌گیرد (Barker & Pilbeam, 2007). تحرک و جابجایی کلسیم در گیاه بسیار ضعیف است و از این رو علائم کمبود این عنصر در جوانترین برگ‌ها، نوک ساقه و ریشه و مهمتر از همه روی میوه‌ها مشاهده می‌شود (Buczowska et al., 2016). کمبود کلسیم معمولاً به ناتوانی گیاه در انتقال کلسیم کافی به قسمت آسیب دیده مربوط می‌شود. کمبود کلسیم در سبزی‌های برگ‌های باعث سوختگی نوک برگ‌های جوان می‌شود، که در کرفس دمبرگی موجب

بروز ناهنجاری سیاه شدن برگ‌های درونی یا سیاه شدن مغز کرفس می‌شود (Olle & Bender, 2009). سیاه شدن مغز یک واکنش فیزیولوژیکی کرفس است که با جذب کلسیم ضعیف همراه است که در بیشتر مناطق رشد کرفس رخ می‌دهد و ارتباط نزدیکی با شرایط رشد دارد. اگر شرایط مساعد برای ایجاد سیاه شدن مغز ادامه داشته باشد، کل تاج گیاه ممکن است طی چند روز از بین برود. استفاده از کلسیم محلول می‌تواند باعث کاهش یا جلوگیری از ایجاد ناهنجاری سیاه شدن مغز کرفس شود (Olle & Bender, 2009). همچنین حفره‌ای شدن بافت داخلی دمبرگ، از ناهنجاری‌های مهم دیگر در کرفس دمبرگی است که با تجزیه سلول‌های پارانشیمی ایجاد شده و به این ترتیب با ایجاد حفره‌های هوایی، بافت پارانشیم دمبرگ سفید و اسفنجی می‌شود و خشک به نظر می‌رسد. این ناهنجاری توسط عوامل متعددی القا می‌شود که منجر به پیری می‌شوند. هنگامی که در مراحل اولیه رشد اتفاق می‌افتد باعث کاهش عملکرد می‌شود. کلسیم با ممانعت یا تاخیر در پیری باعث کاهش حفره‌ای شدن دمبرگ می‌شود (Bruznican et al., 2020).

کلسیم به صورت نمک‌های مختلف و یا ترکیب با مواد مختلف از جمله کلرید کلسیم، نترات کلسیم، تیوسولفات کلسیم، کلسیم کلات شده با آمینواسید، لاکتات کلسیم، پروپیونات کلسیم، استات کلسیم، آسکوربات کلسیم برای بهبود کلسیم محصولات باغبانی به کار می‌رود که از بین آن‌ها کلرید کلسیم کاربرد بیشتری دارد. محلول پاشی برگ‌های کلسیم یکی از روش‌های موثر برای برطرف کردن کمبود کلسیم و اصلاح عوارض ناشی از آن است (Samarakoon et al., 2020). کاربرد قبل و پس از برداشت کلسیم موجب افزایش عملکرد و حفظ استحکام و کیفیت سبزی‌ها و میوه‌ها می‌شود (Kou et al., 2015). در پژوهشی تیمار قبل و پس از برداشت کلسیم موجب افزایش عملکرد، سفتی بافت، کاهش نشت یونی، حفظ کیفیت و کاهش رشد باکتری‌ها در کلم بروکلی (*Brassica oleracea* L.) شد (Kou et al., 2015). محلول پاشی لاکتات

مواد و روش‌ها

تیمارها و محل انجام آزمایش

به منظور بررسی تأثیر منابع مختلف کلسیم بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه کرفس دمبرگی آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۲ در یک مزرعه خصوصی در شهرستان آبیک، قزوین انجام گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل منابع مختلف کلسیم بصورت لاکتات کلسیم ($C_6H_{10}O_6$ ، CaO_6 ، ۱۸/۳ درصد کلسیم) در دو سطح ۱ و ۲ گرم بر لیتر، کلرید کلسیم ($CaCl_2$ ، ۳۶/۳ درصد کلسیم) در دو سطح ۵ و ۱۰ گرم بر لیتر و نترات کلسیم ($Ca(NO_3)_2$ ، ۱۹ درصد کلسیم و ۱۵/۵ درصد نیتروژن) در دو سطح ۱۰ و ۱۵ گرم بر لیتر و آب مقطر به عنوان شاهد بود (Olle & Bender, 2009, Barzegar et al., 2018). نشاهای کرفس دمبرگی در اردیبهشت ماه در مرحله ۳-۴ برگی به مزرعه منتقل شد. فاصله کاشت روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش، در جدول یک آورده شده است.

پس از کاشت نشاها تا زمان استقرار کامل گیاه، آبیاری به طور منظم با سیستم آبیاری قطره‌ای- نواری روزی یکبار انجام گرفت. پس از آن آبیاری هر سه روز یکبار تا پایان فصل برداشت انجام شد. علف‌های هرز بصورت دستی وجین شدند. محلول‌پاشی منابع مختلف کلسیم از مرحله ۵-۶ برگی شروع شد و با فاصله ۱۵ روز ۳ بار تکرار شد. محلول‌پاشی با استفاده از مه‌پاش مکانیکی به اندازه‌ای که برگ‌ها کامل خیس و محلول از برگ‌ها چکه کند انجام شد. در پایان دوره برداشت، گیاهان در اواخر شهریور برداشت شدند و از هر واحد آزمایشی پنج بوته برای ارزیابی صفات کیفی و بیوشیمیایی به آزمایشگاه فیزیولوژی گروه علوم باغبانی دانشگاه زنجان منتقل شدند.

کلسیم در گیاه فلفل دلمه‌ای در طول دوره رویشی، محتوای ویتامین ث و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه را افزایش داد (Barzegar et al., 2018). محلول‌پاشی برگی کلرید کلسیم در دو مرحله رویشی و تشکیل میوه در گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.)، باعث افزایش رشد ارتفاع بوته، عملکرد میوه، سفتی میوه و مواد جامد محلول کل میوه شد (Sajid et al., 2020). همچنین گزارش شد کاربرد برگی کلسیم در گیاه داروئی مرزنگوش (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum*) موجب افزایش محتوای کلروفیل کل، رشد رویشی، کاهش زمان تا گلدهی و افزایش محتوای اسانس شد (Dordas, 2009).

کاربرد برگی لاکتات کلسیم در گیاه کاهو تحت شرایط آبیاری نرمال و کم‌آبیاری محتوای فنول، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی و غلظت کلسیم را افزایش داده و باعث بهبود عملکرد و کیفیت این گیاه شد (Khani et al., 2019). Najafi و Barzegar (۲۰۲۲) گزارش کردند که کاربرد نترات کلسیم ۱/۵ درصد، کلرید کلسیم ۰/۹ درصد و لاکتات کلسیم ۱/۵ گرم در لیتر باعث بهبود خواص آنتی‌اکسیدانی و کیفیت کلم گل شد. استفاده از نترات کلسیم در فلفل شیرین (*Capsicum annuum* L.) در مقایسه با گیاهان شاهد، عملکرد بازپسند میوه، محتوای ویتامین ث و کارتنوئید میوه را افزایش و ناهنجاری فیزیولوژیکی پوسیدگی گلگاه میوه را کاهش داد (Buczowska et al., 2016).

استفاده از نترات کلسیم در گوجه‌فرنگی با توجه به اهمیت تغذیه کلسیم در رشد، عملکرد و کیفیت سبزی‌ها، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر منابع مختلف کلسیم بر رشد و کیفیت کرفس دمبرگی و جلوگیری از بروز ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی حفره‌ای شدن دمبرگ و سیاه شدن مغز کرفس انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of experimental soil.

بافت خاک	ماده آلی	پتاسیم	کلسیم	نیترژن	هدایت الکتریکی	اسیدیته
Soil Texture	Organic matter (%)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	N (%)	EC (dS m ⁻¹)	pH
لومی رسی Clay Loam	0.71	0.4	0.12	0.08	3.01	8.1

صفات مورد ارزیابی

صفات رویشی و عملکرد

پس از برداشت گیاهان از هر واحد آزمایشی پنج بوته انتخاب و صفات رشدی شامل تعداد دمبرگ در بوته، ارتفاع بوته و طول دمبرگ بر حسب سانتی‌متر ارزیابی شدند. برای تخمین عملکرد، وزن تر بوته‌ها توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۱ گرم (مدل EK-15KL، ساخت ژاپن) توزین شد و در نهایت میزان عملکرد بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد.

صفات کیفی و بیوشیمیایی

برای اندازه‌گیری شاخص‌های بیوشیمیایی و صفات کیفی، در هر واحد آزمایشی پنج بوته و از هر بوته دو برگ شامل یک برگ خارجی و یک برگ داخلی بوته انتخاب شد.

محتوای کلروفیل و کاروتنوئید

برای سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی از روش Arnon (۱۹۴۹) استفاده شد. میزان جذب نوری در طول موج‌های ۶۴۳، ۶۴۵، ۴۷۰ و ۵۱۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل SAFAS MONACO (RS232) قرائت شد. با استفاده از رابطه‌های زیر میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه محاسبه گردید.

$$\text{Total Chl (mg g}^{-1}\text{FW)} = [20.2 (A_{645}) + (8.02 (A_{663}))] \times V/1000W$$

رابطه (۱)

$$\text{Carotenoid (mg g}^{-1}\text{FW)} = [(7.6 (A_{480}) - (14.9 (A_{510}))] \times V/1000W$$

رابطه (۲)

محتوای آسکوربیک اسید

برای اندازه‌گیری آسکوربیک اسید (ویتامین ث) دمبرگ، دو گرم از نمونه برگ تازه به همراه شش میلی‌لیتر از محلول متافسفریک یک درصد عصاره‌گیری شد. سپس به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۶۰۰۰ در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ شد. پس از آن دو میلی‌لیتر از دی‌کلروایندوفنول محلول در بیکربنات سدیم به‌عنوان معرف به ۱۰۰ میکرولیتر عصاره استخراج شده افزوده شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل SAFAS (RS232) MONACO اندازه‌گیری شد. غلظت آسکوربیک اسید نمونه با استفاده از منحنی استاندارد آسکوربیک اسید با حضور دی‌کلروایندوفنول به‌دست آمد (AOAC, 2000).

محتوای فنول کل و فلاونوئید

مقدار فنول کل دمبرگ با استفاده از معرف فولین سیوکالتو (Folin-Ciocalteus) اندازه‌گیری گردید که در آن از متانول/آب با نسبت حجمی ۸۰ به ۲۰ به‌عنوان حلال استخراج استفاده شد. عصاره با مقدار مساوی فولین سیوکالتو (۵۰ درصد v/v) مخلوط شد و اجازه داده شد تا در دمای اتاق واکنش نشان دهد. سپس محلول کربنات سدیم (۲ درصد) اضافه شد و مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه باقی ماند. میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۲۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (Specord 250 Jena-History) خوانده شد. برای به‌دست آوردن منحنی کالیبراسیون از گالیک اسید به‌عنوان استاندارد استفاده شد. محتوای فنول کل عصاره بر حسب میلی‌گرم معادل گالیک اسید بر ۱۰۰ گرم وزن-تر گیاه محاسبه گردید (Singleton et al., 1965).

دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد و رسم نمودارها با نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته، طول دمبرگ و تعداد برگ

براساس نتایج، محلول پاشی منابع مختلف کلسیم سبب افزایش معنی دار ($P < 0.01$) ارتفاع بوته، تعداد برگ و طول دمبرگ نسبت به شاهد شدند (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته (۶۷/۳ سانتی‌متر)، تعداد برگ (۲۵/۲۶) و طول دمبرگ (۳۰/۳ سانتی‌متر) داشت در گیاهان محلول پاشی شده با کلرید کلسیم ۱۰ گرم در لیتر مشاهده شد. همانطور که نتایج تایید دارند کاربرد منابع مختلف کلسیم بطور قابل توجهی نسبت شاهد صفات رشدی کرفس را افزایش دادند (جدول ۲).

کلسیم نقش مهمی در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی موثر بر رشد و نمو از جمله تقسیم و طویل شدگی سلول و در نتیجه افزایش طول اندام‌های گیاهی دارد و همین‌طور می‌تواند به‌طور غیرمستقیم تعداد برگ را افزایش دهد (Hepler, 2005). در واقع عنصر کلسیم یک عنصر ضروری برای حفظ تمامیت غشای پلاسمایی و دیواره محسوب می‌شود، به طوری که کاهش دسترسی به کلسیم رشد گیاه را کاهش می‌دهد (Arshad et al., 2012). افزایش تعداد برگ در بوته به‌طور معنی‌داری با سرعت رشد گیاه ارتباط دارد. گیاه با تعداد برگ بیشتر، میزان کربن بیشتری را مورد استفاده قرار داده و رشد سریع‌تر اتفاق می‌افتد (Samuoliene et al., 2010). در پیاز مصرف نیتрат کلسیم توانست تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد در تعداد برگ ایجاد کند (Ghoname et al., 2007). همچنین طی تحقیقی که توسط Heo و همکاران (۲۰۱۲) صورت گرفت تأثیر کلسیم بر افزایش تعداد برگ و عملکرد کاهو عنوان گردید.

برای اندازه‌گیری میزان فلاونوئید، بر روی ۲۵۰ میکرو-لیتر از نمونه‌های عصاره دمبرگ، ۷۵ میکرولیتر NaNO_2 (۵ درصد وزنی حجمی) و ۱۵۰ میکرولیتر AlCl_3 (۱۰ درصد وزنی حجمی) و ۵۰ میکرولیتر NaOH یک مولار اضافه شد و با اضافه کردن آب مقطر حجم نهایی به ۲/۵ میلی‌لیتر رسید. پس از ۵ دقیقه، جذب محلول در طول موج ۵۰۷ نانومتر قرائت گردید. برای رسم منحنی استاندارد از کوئرستین (۱۵-۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) استفاده شد. میزان فلاونوئید براساس میلی‌گرم معادل کوئرستین بر ۱۰۰ گرم وزن تر گیاه گزارش شد (Kaijv et al., 2006).

غلظت کلسیم برگ‌های داخلی و خارجی

جهت تعیین غلظت کلسیم در بافت گیاهی، برگ‌ها آسیاب و سپس در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد سوزانده شدند. ۲ گرم از نمونه‌های خاکستر شده با استفاده از اسید نیتریک و اسید پرکلریک، هضم و سپس مقدار کلسیم به روش کمپلکسومتری اندازه‌گیری شد (Kalra, 1997).

حفره‌ای شدن دمبرگ و سیاه شدن مغز

جهت تخمین میزان حفره‌ای شدن دمبرگ، علاوه بر مشاهده سطح مقطع دمبرگ‌ها با چشم غیرمسلح، برش‌های میکروتومی نیز از نمونه‌ها تهیه شد و بعد از رنگ‌آمیزی با ماده کارمن‌زاجی با استفاده از میکروسکوپ نوری ارزیابی شد. در نهایت نمونه‌ها در ۴ گروه صفر، ۲۵ درصد، ۵۰ درصد و ۷۵ درصد حفره‌ای شدن دمبرگ گروه‌بندی شدند.

ناهنجاری سیاه شدن مغز در هنگام برداشت ارزیابی شد که به صورت چشمی در سه حالت (۱) بدون آسیب. (۲) سطح متوسط آسیب و (۳) آسیب شدید در نظر گرفته شد (Bouzo et al., 2007).

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای

جدول ۲- تأثیر محلول پاشی منابع مختلف کلسیم بر صفات رشدی و عملکرد کرفس دمبرگی

منابع مختلف کلسیم Ca sources (g L ⁻¹)	تعداد برگ Number of leaf	طول دمبرگ Stalk length (cm)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	وزن تر بوته Plant fresh weight (g)	عملکرد Yield (kg ha ⁻¹)
شاهد Control	12.3 ^c	14 ^c	43.6 ^c	680 ^d	45333 ^d
کلرید کلسیم ۵ Calcium chloride 5	19.6 ^{ab}	25.6 ^{ab}	60.3 ^{ab}	1100 ^b	73333 ^b
کلرید کلسیم ۱۰ Calcium chloride 10	25.3 ^a	30.3 ^a	67.3 ^a	1366.7 ^a	91110 ^a
نیتрат کلسیم ۱۰ Calcium nitrate 10	20.3 ^b	24.6 ^{ab}	49.3 ^{bc}	1003.3 ^{bc}	66888 ^{bc}
نیترات کلسیم ۱۵ Calcium nitrate 15	21 ^{ab}	24 ^b	60 ^{ab}	853.3 ^{bc}	56888 ^{bc}
لاکتات کلسیم ۱ Calcium lactate 1	21 ^{ab}	26.6 ^{ab}	55.6 ^b	793.3 ^{cd}	52888 ^{cd}
لاکتات کلسیم ۲ Calcium lactate 2	18 ^b	21.3 ^b	54.6 ^b	1026.7 ^{bc}	68444 ^{bc}
معنی داری/Significance					
تیمار/Treatment	46.3 ^{**}	78.65 ^{**}	180.76 ^{**}	9861.9 ^{**}	682942249 ^{**}
C.V(%) / ضریب تغییرات	13.03	13.2	10.3	11.3	13.6

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی-داری ندارند. **، * و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی داری می‌باشد.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at 5 % probability level. ns, *, **: Non-significant, Significant at 5 and 1% of probability levels, respectively

وزن تر بوته و عملکرد

وزن تر بوته و عملکرد کرفس تحت تأثیر محلول پاشی کلسیم تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد ($P < 0.01$) نشان داد (جدول ۲). حداکثر وزن تر بوته (۱۳۶۶/۷ گرم) و عملکرد (۹۱۱۱۰ کیلوگرم در هکتار) در گیاهان تیمار شده با کلرید کلسیم ۱۰ گرم در لیتر حاصل شد، به عبارتی میزان عملکرد تحت تیمار ۱۰ گرم بر لیتر کلرید کلسیم حدود ۵۰ درصد افزایش نسبت به شاهد داشت. کمترین وزن تر بوته و عملکرد در گیاهان شاهد مشاهده شد که با تیمار لاکتات کلسیم یک گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری نداشت. (جدول ۲).

کلسیم به‌طور مستقیم در فرآیندهای فتوسنتز دخالت دارد و کمبود آن از طریق کاهش کارایی کربوکسیلاسیون و فتوسنتز باعث کاهش قابل توجه بیوماس گیاهان می‌شود (Taiz & Ezeiger, 2008). همانطور که نتایج نشان می‌دهد کلسیم با افزایش

محتوای کلروفیل برگ و در نتیجه افزایش بیومس موجب بهبود رشد رویشی و عملکرد بوته شد. از آنجایی که تحرک کلسیم در گیاه کم می‌باشد در نتیجه حتی اگر در خاک بیش از نیاز گیاه وجود داشته باشد، ولی ممکن است کمبود آن در اندام‌هایی با میزان تعلق کم مشاهده شود. طی محلول پاشی، چون عنصر مستقیماً روی اندام‌ها قرار می‌گیرد، می‌تواند باعث رفع کمبود و افزایش رشد و عملکرد گیاه گردد (Samarakoon *et al.*, 2020). نتایج این پژوهش با نتایج Samarakoon و همکاران (۲۰۲۰) در گیاه کاهو همخوانی دارد که گزارش کردند کاربرد کلرید کلسیم، وزن تازه کاهو را افزایش داد. همچنین طی تحقیقی کاربرد کلرید کلسیم باعث کاهش وزن اندام هوایی شد در حالی که کاربرد نیترات کلسیم سبب افزایش وزن اندام هوایی و ریشه گردید (Akram *et al.*, 2009). تیمار قبل از برداشت کلسیم موجب افزایش عملکرد و حفظ کیفیت کلم

رنگیزه‌های فتوسنتزی رابطه مستقیمی وجود داشت. در بین تیمارهای کلسیمی بیشترین محتوای کلروفیل کل (۲/۸۷ و ۲/۳۵ میلی گرم بر گرم وزن تر) به ترتیب در تیمارهای ۱۵ و ۱۰ گرم بر لیتر نیترات کلسیم مشاهده شد و کمترین میزان (۰/۶۷ میلی گرم بر گرم وزن تر) در شاهد مشاهده گردید. محتوای کاروتنوئید هم با کاربرد کلسیم افزایش یافت. بیشترین میزان کاروتنوئید (۰/۷۲ و ۰/۶۴ میلی گرم بر گرم وزن تر) به ترتیب در ۱۵ گرم بر لیتر نیترات کلسیم و یک گرم بر لیتر لاکتات کلسیم مشاهده شد (جدول ۳).

بروکلی (*Brassica oleracea* L.) شد (Kou et al., 2015). کاربرد برگی کلسیم، تعداد برگ و وزن تر بوته کاهو را افزایش داد (Niazi et al., 2021). کاربرد برگی لاکتات کلسیم در گیاه کاهو تحت شرایط آبیاری نرمال و کم آبیاری باعث بهبود عملکرد و کیفیت گیاه شد (Khani et al., 2019).

محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید

طبق جدول تجزیه واریانس اختلاف معنی داری ($P < 0.01$) بین تیمارها از نظر محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید مشاهده شد (جدول ۳). به عبارتی بین محلول پاشی منابع مختلف کلسیم و افزایش میزان

جدول ۳- تأثیر محلول پاشی منابع مختلف کلسیم بر صفات کیفی کرفس دمبرگی

Table 3. Effect of different calcium sources spray on quality traits of celery

منابع مختلف کلسیم Ca sources (g L ⁻¹)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg g ⁻¹ FW)	کاروتنوئید Carotenoids (mg g ⁻¹ FW)	ویتامین ث Vitamin C (mg 100g ⁻¹ FW)	فنول کل Phenols (mg GAE 100g ⁻¹ FW)	فلاونوئید Flavonoids (mg QE100g ⁻¹ FW)
شاهد Control	0.67 ^c	0.247 ^c	6.68 ^f	23.9 ^d	10.29 ^e
کلرید کلسیم ۵ Calcium chloride 5	1.95 ^c	0.558 ^{bc}	11.03 ^c	26.3 ^{cd}	13.82 ^{de}
کلرید کلسیم ۱۰ Calcium chloride 10	1.90 ^c	0.570 ^{bc}	13.99 ^a	31.6 ^{bcd}	16.29 ^{cd}
نیترات کلسیم ۱۰ Calcium nitrate 10	2.35 ^b	0.453 ^d	9.89 ^d	38.9 ^{ab}	20.59 ^{ab}
نیترات کلسیم ۱۵ Calcium nitrate 15	2.87 ^a	0.723 ^a	13.99 ^a	40.7 ^a	22.16 ^a
لاکتات کلسیم ۱ Calcium lactate 1	2.11 ^c	0.648 ^{ab}	8.13 ^e	32.6 ^{abc}	17.29 ^{cd}
لاکتات کلسیم ۲ Calcium lactate 2	0.94 ^d	0.512 ^{cd}	12.08 ^b	35.4 ^{ab}	19.29 ^{abc}
Significance / معنی داری					
Treatment / تیمار	1.79 **	0.069 **	23.47 **	114.86 **	50.19 **
C.V (%) / ضریب تغییرات	6.7	9.4	4.9	12.6	9.4

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی-

داری ندارند. **، * و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی داری می باشد.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at 5 % probability level. ns, *, **: Non-significant, Significant at 5 and 1% probability levels, respectively

ویتامین ث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که میزان ویتامین ث تحت تأثیر محلول پاشی کلسیم تفاوت معنی داری ($P < 0.01$) داشت (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین میزان ویتامین ث ($13/9$ میلی گرم در 100 گرم وزن تر) در گیاهان تیمار شده با 15 گرم بر لیتر نیترات کلسیم و 10 گرم بر لیتر کلرید کلسیم حاصل شد (جدول ۳). تیمار برگ‌های کلسیم، محتوای ویتامین ث را افزایش داد که نتایج پژوهش حاضر با نتایج Michalojc و Dzida (2012) و Barzegar و همکاران (2018) در فلفل مطابقت دارد که گزارش کردند کاربرد کلسیم بر روی گیاهان فلفل، محتوای ویتامین ث میوه را افزایش داد و مقدار ویتامین ث میوه با غلظت کلسیم و نوع منبع کلسیم استفاده شده به طور معنی داری متفاوت بود و بیشترین مقدار آن در تیمار نیترات کلسیم حاصل شد. شایان ذکر است که تغذیه کلسیم باعث تحریک سنتز ویتامین ث می شود.

ویتامین ث جزء مواد آنتی اکسیدانی غیر آنزیمی در گیاه است که نسبت به دیگر مواد آنتی اکسیدانی به دلیل اکسیداسیون، خیلی حساس به تجزیه می باشند. این ویتامین در طول مدت رسیدگی میوه و سبزی بر اثر فعالیت آنزیم‌های پلی فنول اکسیداز و آسکوربیک-اکسیداز تجزیه شده و مقدار آن کاهش می یابد (Liu *et al.*, 2014). در واقع افزایش مقدار ویتامین ث در اثر کاربرد کلسیم را می توان به نقش بازدارندگی کلسیم بر فعالیت آنزیم‌های اکسید کننده آسکوربیک اسید مانند آسکوربیک اسید اکسیداز و پلی فنول اکسیداز که آسکوربات را به عنوان سوپسترا مصرف می کنند و همچنین به نقش کلسیم در کاهش تنفس و تولید اتیلن و جلوگیری از تجزیه دیواره سلولی و در نتیجه کاهش تولید رادیکال‌های آزاد نسبت داد (Naser *et al.*, 2018). گزارش شد که تیمار فلفل دلمه‌ای با کلرید کلسیم باعث مهار آنزیم آسکوربیک اکسیداز شده در نتیجه باعث افزایش میزان اسید آسکوربیک داخل گردید (Ruoyi *et al.*, 2005). کاربرد لاکتات کلسیم در اسفناج مانع از افزایش نفوذپذیری غشای سلولی و

کلسیم به عنوان یک عنصر غذایی مهم در رشد، توسعه گیاه و سنتز کلروفیل نقش دارد. این عنصر از طریق حفاظت کلروپلاست و واکنش‌های فیتوشیمیایی مرتبط با آن، سبب کاهش آسیب‌های سلولی به وجود آمده به وسیله گونه‌های فعال اکسیژن تحت شرایط تنش‌های مختلف می گردد (White, 2000). استفاده از کلسیم بخصوص تیمار کلرید کلسیم سبب افزایش محتوای کلروفیل شد. افزایش رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز در سمیت زدایی گونه‌های فعال اکسیژن شده که در نتیجه مانع از تخریب کلروفیل می گردد (Chengbin *et al.*, 2013). کلسیم می تواند به عنوان پیام رسان ثانویه در افزایش فعالیت سیتوکینین نقش ایفاء کند و بنابراین در بهبود سنتز کلرفیل عمل کند (Siddiqui *et al.*, 2012). طی تحقیق صورت گرفته روی کاهو مشاهده شد که با افزایش غلظت کلسیم در برگ‌ها از طریق محلول پاشی، محتوای کلروفیل برگ افزایش یافت (Khani *et al.*, 2020). همچنین براساس پژوهشی میزان کارتنوئید در هویج در تیمار با لاکتات کلسیم در پایان دوره انبارمانی افزایش یافت که این افزایش می تواند به دلیل افزایش بتاکاروتن باشد (Martin Diana *et al.*, 2005). یافته‌های یک پژوهش نشان داد که استفاده از منابع مختلف کلسیم بخصوص نیترات کلسیم، محتوای قند کل، کاروتنوئید و کلروفیل را در میوه‌های فلفل شیرین (*Capsicum annuum* L.) افزایش داد (Buczowska *et al.*, 2016). طی تحقیق صورت گرفته مشاهده شد که کاهش مقدار کلسیم در محلول غذایی منجر به کاهش محتوای کلروفیل و توکروپول در خیار (*Cucumis sativus* L.) گردید (He *et al.*, 2018). گزارش کردند که کاربرد لاکتات کلسیم افزایش معنی داری بر محتوای کلروفیل در برگ گیاهان بادنجان تیمار شده با سطوح بالای لاکتات کلسیم داشت (Farhangpour *et al.*, 2023).

محتوای مالون‌دی‌آلدهید و کاهش میزان ویتامین ث شده است (Wen-bin *et al.*, 2013). همچنین محلول‌پاشی لاکتات کلسیم بر گیاه منجر به حفظ ویتامین ث و عدم کاهش آن شد (Shan *et al.*, 2011).

فنول کل و فلاونوئید

کاربرد سطوح مختلف کلسیم به‌طور معنی‌داری ($P < 0.01$) محتوای فنول کل و فلاونوئید را نسبت به گیاهان شاهد افزایش دادند و فقط تیمار کلرید کلسیم ۱ گرم در لیتر در هر دو صفت تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان نداد (جدول ۳). طبق نتایج، بیشترین میزان فنول کل (۴۰/۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن‌تر) در گیاهان تحت تیمار ۱۵ گرم در لیتر نیترات کلسیم حاصل شد که با تیمارهای نیترات کلسیم ۱۰ گرم در لیتر و لاکتات کلسیم ۱ و ۲ گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). همچنین حداکثر مقدار فلاونوئید (۲۲/۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن‌تر) در سطح ۱۵ گرم در لیتر نیترات کلسیم مشاهده شد که با تیمارهای ۱۰ گرم در لیتر نیترات کلسیم و ۲ گرم در لیتر لاکتات کلسیم تفاوت معنی‌داری نشان نداد.

میوه‌ها و سبزی‌ها منبع عالی از ترکیبات فنولیک هستند. ترکیبات فنولی شامل گروه بزرگی از متابولیت‌های ثانویه در گیاه هستند که خواص آنتی‌اکسیدانی از خود نشان می‌دهند این ترکیبات به عنوان گیرنده رادیکال‌های آزاد عمل کرده و سبب تحمل گیاهان در برابر تنش‌های اکسیداتیو می‌شوند (Takahashi & Badger, 2011). فنول‌ها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها از جمله عامل‌های تعیین‌کننده ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و ارزش تغذیه‌ای در گیاهان می‌باشند که از مسیر فنول پروپانوئید در اثر فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیا‌لاز تولید می‌شوند. در واقع اولین مرحله دآمیننه شدن اسید آمینه‌های آروماتیک به نام فنیل‌آلانین توسط آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیا‌لیاز و تبدیل آن به ترانس سینامیک اسید انجام می‌گیرد. تیمار با ترکیبات کلسیمی منجر به افزایش کلسیم سیتوزولی شده که این امر باعث افزایش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیا‌لیاز می‌گردد (Aghdam

2013, *et al.*). کلسیم با حفظ استحکام دیواره سلولی و کاهش رادیکال‌های آزاد باعث کاهش اکسیداسیون فنول‌ها و فلاونوئیدها می‌شود (Kou *et al.*, 2015). طی آزمایشی با محلول‌پاشی کلرید کلسیم روی برگ‌های کیوی فروت، افزایش فنول کل در میوه مشاهده شد (Koutinas *et al.*, 2010). در بررسی منابع مختلف کلسیم روی ذرت (*Zea mays* L.) کاربرد لاکتات کلسیم، محتوای فنول کل و فلاونوئید دانه را افزایش داد (Sanchez-Madrigal *et al.*, 2015). کاربرد لاکتات کلسیم در کاهو باعث افزایش محتوای فنول کل و فلاونوئید شد (Khani *et al.*, 2020).

کلسیم برگ‌های داخلی و خارجی

غلظت کلسیم در برگ‌های داخلی و خارجی تحت تأثیر محلول‌پاشی منابع مختلف کلسیم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۴). براساس نتایج، بیشترین مقدار کلسیم برگ‌های داخلی به ترتیب در تیمارهای ۱۵ گرم بر لیتر نیترات کلسیم (۴/۰۴ درصد)، ۱۰ گرم بر لیتر کلرید کلسیم (۳/۸ درصد)، ۵ گرم در لیتر کلرید کلسیم (۳/۵ درصد) و ۲ گرم در لیتر لاکتات کلسیم (۳/۱ درصد) حاصل شد که تفاوت معنی‌داری بین آنها وجود نداشت. بیشترین مقدار کلسیم برگ‌های خارجی به ترتیب در ۱۰ گرم در لیتر کلرید کلسیم (۷/۱ درصد)، ۵ گرم در لیتر کلرید کلسیم (۶/۹ درصد) و ۱۵ گرم در لیتر نیترات کلسیم (۶/۲ درصد) حاصل شد که به‌طور معنی‌داری محتوای کلسیم را در مقایسه با شاهد افزایش دادند (جدول ۴).

جذب و انتقال کلسیم توسط گیاهان شدیداً تحت تأثیر شرایط اقلیمی و به‌طور خاص رطوبت است. کلسیم به آسانی در آوندهای چوبی و به‌ندرت در آوندهای آبکش منتقل می‌شود و نسبت بین انتقال با آوند چوبی و آبکش و در نتیجه توزیع کلسیم به‌طور زیادی با رطوبت تعیین می‌شود (Frezza *et al.*, 2005). در سبزی‌های برگ‌مانند کرفس و کاهو که برگ‌های داخلی توسط برگ‌های بیرونی پوشیده می‌شوند تفرق برگ‌های جوان محدود شده، بنابراین جذب کلسیم در برگ‌های داخلی کاهش

می‌یابد. غلظت کلسیم در برگ‌های چنین محصولاتی با یک کاهش شدید از برگ‌های خارجی به برگ‌های داخلی مشخص می‌شود (Mohd *et al.*, 2015).

جدول ۴- تأثیر محلول پاشی منابع مختلف کلسیم بر محتوای کلسیم و ناهنجاری‌های فیزیولوژیک کرفس دمبرگی

منابع مختلف کلسیم Ca sources (g L ⁻¹)	کلسیم برگ‌های داخلی Ca of internal leaves (%)	کلسیم برگ‌های خارجی Ca of external leaves (%)	حفره‌ای شدن دمبرگ Petiole pithiness (%)	سیاه شدن مغز Black heart (%)
شاهد Control	0.77 ^c	2.7 ^b	50.1 ^a	52 ^a
کلرید کلسیم ۵ Calcium chloride 5	3.5 ^a	6.9 ^a	28.3 ^b	10 ^b
کلرید کلسیم ۱۰ Calcium chloride 10	3.8 ^a	7.1 ^a	23.3 ^b	6.6 ^b
نیترات کلسیم ۱۰ Calcium nitrate 10	1.9 ^b	5.04 ^{ab}	20 ^b	3.6 ^b
نیترات کلسیم ۱۵ Calcium nitrate 15	4.04 ^a	6.2 ^a	1.33 ^c	3.3 ^b
لاکتات کلسیم ۱ Calcium lactate 1	1.6 ^b	4.8 ^{ab}	15 ^b	23.3 ^{ab}
لاکتات کلسیم ۲ Calcium lactate 2	3.1 ^a	5.02 ^{ab}	15 ^b	20 ^b
Significance / معنی‌داری				
Treatment / تیمار	5.62 **	6.78 *	677.4 **	901.7 **
C.V (%) / ضریب تغییرات	20.4	14.05	11.8	15.6

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی-

داری ندارند. **, * و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی داری می باشد.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at 5 % probability level. ns, *, **: Non-significant, Significant at 5 and 1% of probability levels, respectively

ناهنجاری‌های حفره‌ای شدن دمبرگ و سیاه شدن مغز کرفس

با توجه به نتایج، کاربرد سطوح مختلف کلسیم درصد حفره‌ای شدن ساقه و سیاه شدن مغز را به‌طور قابل توجهی نسبت به شاهد کاهش داد. کمترین درصد حفره‌ای شدن در تیمار ۱۵ گرم بر لیتر نیترات کلسیم (۱/۳۳ درصد) و بیشترین میزان در شاهد (۵۰/۱ درصد) مشاهده شد که طبق این نتایج تیمار نیترات کلسیم ۱۵ گرم بر لیتر حدود ۴۹ درصد نسبت به شاهد حفره‌ای شدن بافت کرفس را کاهش داد (جدول ۴ و شکل ۱). کمترین درصد سیاه شدن مغز (۳/۳، ۳/۶ و ۶/۶) به

در پژوهش حاضر نیز غلظت کلسیم در برگ‌های خارجی کرفس بیشتر از برگ‌های داخلی بود (جدول ۴) و کاربرد کلسیم، غلظت کلسیم برگ‌های داخلی افزایش داد. گزارش شده است که کاربرد برگ‌های کلسیم، غلظت کلسیم برگ‌های داخلی کاهش داد و از ظهور عارضه سوختگی نوک برگ ممانعت کرد (Niazi *et al.*, 2021). در آزمایشی اثر محلول پاشی کلسیم بر کیفیت و کمیت میوه گوجه گیلاسی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که محلول پاشی کلسیم منجر به افزایش محتوای ویتامین ث و کلسیم در میوه گوجه گیلاسی شد (Islam *et al.*, 2016).

ترتیب در تیمارهای ۱۵ و ۱۰ گرم بر لیتر نیترات کلسیم و کلرید کلسیم ۱۰ گرم در لیتر مشاهده شد (جدول ۴ و شکل ۲).

حفره‌ای شدن دمبرگ یک ناهنجاری رایج در کرفس دمبرگی است. این ناهنجاری یا تجزیه سلول‌های پارانشیمی ایجاد شده و به این ترتیب حفره‌های هوایی بزرگی در بافت پارانشیم بوجود می‌آید. سیاه شده مغز کرفس (قلب سیاه) به علت کمبود کلسیم در نقطه انتهایی در حال رشد است که مشابه سوختگی انتهایی در سبزیهای برگ‌ی دیگر مانند کاهو و کلم پیچ می‌باشد. گیاهان شاهد تیمار نشده با منابع کلسیم درصد بالایی از ناهنجاری‌ها را نشان دادند که با توجه به شرایط خاک محل آزمایش، یکی از پیامدهای اصلی هدایت الکتریکی بالای خاک، تأثیر منفی بر جذب و استفاده عناصر غذایی ضروری است و یکی از عناصری که جذب آن در شرایط شوری خاک کاهش می‌یابد کلسیم است که به رشد کمتر گیاه منجر می‌شود (Tedeschi et al., 2017).

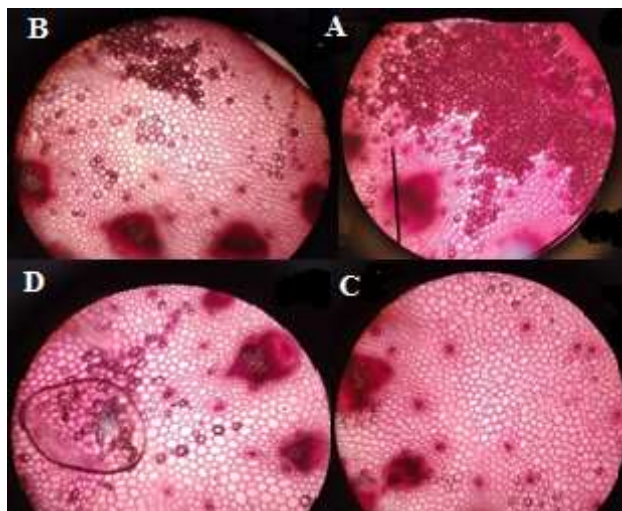
با کاهش یون کلسیم، غشای سلولی نفوذپذیری انتخابی کمتری داشته و ترکیبات فنولی به اندامک‌های سلولی وارد و طی فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز به ترکیبات قهوه‌ای تبدیل می‌شوند. نقش کلسیم در ممانعت از واکنش قهوه‌ای شدن آنزیمی علاوه بر حفظ ساختار غشاء به دلیل کلاته نمودن فنول و جلوگیری از اکسیداسیون آن می‌باشد (Chen et al., 2011). کلسیم به عنوان کاتیون دو ظرفیتی از طریق ریشه جذب شده و از طریق آوند چوبی منتقل می‌شود و تحرک آن از یک سلول به سلول دیگر و در آوند آبکش خیلی کند است و علائم کمبود بیشتر به علت کم بودن تعرق در برگ‌های جوان و داخلی مشاهده می‌شود که کمبود این عنصر سبب سیاه شدن مغز گیاه می‌گردد. کلسیم موجود در دیواره سلولی باعث استحکام بخشیدن به دیواره سلولی و تنظیم تراوایی غشاء و فرایندهای وابسته به آن می‌شود. تجزیه پکتات‌ها به وسیله آنزیم پلی‌گالاکتوروناز انجام می‌گیرد که غلظت زیاد کلسیم به شدت از فعالیت آن می‌کاهد. کمبود کلسیم باعث از هم

پاشیدگی دیواره سلول و در هم ریختن بافت‌های دچار کمبود می‌شود که حفره‌ای شدن و سیاه شدن بافت گیاه را به دنبال دارد (Saure, 2005). Niazi و همکاران (۲۰۲۱) با مطالعه رابطه بین کلسیم و سوختگی نوک برگ‌ها در کاهو گزارش کرد که برگ‌های جوان مبتلا به عارضه سوختگی نوک برگ نسبت به برگ‌های جوان بدون سوختگی دارای سطوح کلسیم کمتری بودند که نقش کلسیم را در بروز این ناهنجاری تایید می‌کند. در تحقیقی که توسط Bouzo و همکاران (۲۰۰۷) روی گیاه کرفس تحت تأثیر ملات کلسیم صورت گرفت، سیاه شدن مغز گیاه نسبت به شاهد کاهش چشم‌گیری داشت. به دلیل محلول‌پاشی و استفاده از کلسیم، انتقال کلسیم به داخل گیاه بهتر و در نتیجه شرایط کمبود این عنصر رفع شده و مانع از بروز این اختلال فیزیولوژیکی می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج حاصل، محلول‌پاشی با منابع مختلف کلسیم به‌طور معنی‌داری رشد، عملکرد و کیفیت کرفس را بهبود بخشید. تیمارهای کلسیم با افزایش محتوای کلروفیل برگ، ارتفاع بوته و تعداد برگ منجر به افزایش عملکرد گیاه شدند. بیشترین میزان عملکرد کرفس در تیمار ۱۰ گرم بر لیتر کلرید کلسیم مشاهده شد که میزان عملکرد را حدود ۵۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. طبق نتایج حاصله منابع کلسیمی تأثیر مستقیم و چشم‌گیری در کاهش میزان حفره‌ای شدن و درصد سیاه شدن مغز کرفس داشتند به طوری که در تیمار ۱۵ گرم بر لیتر نیترات کلسیم کمترین میزان این ناهنجاری‌ها مشاهده شد و توانست حدود ۴۹ درصد ناهنجاری حفره‌ای شدن و سیاه شدن مغز کرفس دمبرگی را کاهش دهد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد برگی منابع مختلف کلسیم به ویژه کلرید کلسیم به میزان ۱۰ گرم بر لیتر و نیترات کلسیم با میزان ۱۵ گرم بر لیتر می‌تواند در زمینه دستیابی به شاخص‌های رشدی مطلوب و جلوگیری از بروز علائم ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی در

این گیاه سودمند باشد و اثرات موثری بر عملکرد گیاه خواهد داشت.



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپی از علائم ناهنجاری حفره‌ای شدن دمبرگ کرفس در گیاهان شاهد (A) و تیمار شده با لاکتات کلسیم ۲ (B)، نیترات کلسیم ۱۵ (C) و کلرید کلسیم ۱۰ (D).

Figure 1- Microscopic images of celery petiole pithiness disorder symptoms of celery plants in control (A), treated with CaL 2 g L⁻¹ (B), CaN 15 g L⁻¹ (C) and CaCl 10 g L⁻¹ (D)



شکل ۲- علائم ناهنجاری سیاه شدن مغز برگ کرفس در گیاهان شاهد (A)، تیمار شده با کلرید کلسیم ۱۰ (B)، نیترات کلسیم ۱۵ (C) و لاکتات کلسیم ۲ (D).

Figure 2. Physiological disorder symptoms of black heart of celery plants in control (A), treated with CaCl 10 g L⁻¹ (B), CaN 15 g L⁻¹ (C) and CaL 2 g L⁻¹ (D)

References

- Aghdam, S.M., Dokhanieh, A.Y., Hassanpour, H. & Fard, J.R. (2013). Enhancement of antioxidant capacity of cornelian cherry (*Cornus mas*) fruit by postharvest calcium treatment, *Scientia Horticulturae*, 161, 160-164. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.0.006>
- Akram, M.S., Ashraf, M. & Akram, N.A. (2009). Effectiveness of potassium sulfate in mitigating salt-induced adverse effects on different physiobiochemical attributes in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 204, 471-483. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2008.05.008>
- AOAC (2000). Official method of analysis. (17th ed.), The association of official analytical chemists. *Washington, D.C.*, 12, 377-378.
- Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.
- Arshad, M., Saqib, M., Akhtar, J. & Asghar, M. (2012). Effect of calcium on the salt tolerance of different wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes, *Pakistan Journal Agriculture Science*, 49 (4), 497-504.
- Barker, A.V. & Pilbeam, D.J. (2007). Handbook of plant nutrition. *CRC Press*, USA, 125- 8.
- Barzegar, T., Fateh, M., & Razavi, F. (2018). Enhancement of postharvest sensory quality and antioxidant capacity of sweet pepper fruits by foliar applying calcium lactate and ascorbic acid. *Scientia Horticulturae*, 241: 293-303. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.07.011>
- Bouzo, C.A., Pilatti, R.A. & Favaro, J.C. (2007). Control of blackheart in the celery (*Apium graveolens* L.) crop. *Journal of agriculture and social sciences*, 3 (2), 73-74.
- Bruznican, S., De Clercq, H., Eeckhaut, T., Van Huylenbroeck, J. & Geelen, D. (2020). Celery and celeriac: A critical view on present and future breeding. *Frontiers in Plant Science*, 22 (10), 1699. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01699>
- Buczkowska, H., Michalojc, Z. & Nurzynska-Wierdak, R. (2016). Yield and fruit quality of sweet pepper depending on foliar application of calcium. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40 (2), 222-228. <https://doi.org/10.3906/tar-1501-56>
- Chen, F., Liu, H., Yang, H., Lai, S., Cheng, S., Xin, Y., Yang, B., Hou, H., Yao, Y., Zhang, S., Bu, G. & Deng, Y. (2011). Quality attributes and cell wall properties of strawberries (*Fragaria annanassa* Duch.) under calcium chloride treatment. *Food Chemistry*, 126, 450-459. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.201.11.009>
- Chengbin, X., Xuemei, L. & Lihong, Z. (2013). The effect of calcium chloride on growth, photosynthesis and antioxidant responses of (*Zoysia japonica*) under drought conditions. *PLOS One*, 8, 1-10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068214>
- Dordas, C. (2009). Foliar application of calcium and magnesium improves growth, yield, and essential oil yield of oregano (*Origanum vulgare* ssp. hirtum). *Industrial Crops and Products*, 29 (2-3), 599-608. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.208.11.004>
- Farhangpour, M., Barzegar, T., Nekounam, F. & Nikbakht, J. (2023). Growth, physiological responses and water use efficiency of eggplant to foliar spray of L-cysteine and calcium lactate under deficit irrigation condition. *Journal of Vegetables Sciences*, 13(1), 01-22. <https://doi.org/10.22034/IUVS.2022.561148.1232>
- Frezza, D., Leon, A., Logegaray, V., Chiesa, A., Desimone, M. & Diaz, L. 2005. Soilless culture technology for high-

- quality lettuce. *Acta Horticulturae*, 697, 43-48.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.205.697.3>
- Ghoname, A., Fawzy, Z.F., El-Bassiony, A.M., Riadand, G.S. & Abd El-Baky, M.M.H. (2007). Reducing onion bulbs flaking and increasing bulb yield and quality by potassium and calcium application. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1, 610-618.
- He, L., Yu, L., Li, B., Du, N. & Guo, S. (2018). The effect of exogenous calcium on cucumber fruit quality, photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and fast chlorophyll fluorescence during the fruiting period under hypoxic stress. *BMC Plant Biology*, 18 (1), 1-10.
<https://doi.org/10.1186/s12870-0181393-3>
- Heo, J.W., Kang, D.H., Hong, S.G., Chun, C.H. & Kang, K.K. (2012). Early growth, pigmentation, protein content, and phenylalanine ammonia-lyase activity of red curled lettuces grown under different lighting conditions. *Horticultural Science & Technology*, 30 (1), 6-12.
<https://doi.org/10.7235/hort.2012.11118>
- Hepler, P.K. (2005). Calcium: A central regulator of plant growth and development. *The Plant Cell*, 17 (8), 2142-2155.
<https://doi.org/10.1105/tpc.105.032508>
- Islam, M.Z., Mele, M.A., Baek, J.P., & Kang, H.M. (2016). Cherry tomato qualities affected by foliar spraying with boron and calcium. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 57, 46-52. <https://doi.org/10.1007/s13580016-0097-6>
- Kader, A. & Lindberg, S. (2010). Cytosolic calcium and pH signaling in plants under salinity stress. *Plant Signaling and Behavior*, 5, 233-238.
<https://doi.org/10.4161/psb.5.3.10740>
- Kaijv M., Sheng L. & Chao C. (2006). Antioxidation of flavonoids of Green Rhizome. *Food Science*, 27(3), 110-115.
<https://doi.org/10.3390/molecules3004813>
- Kalra, Y.P. (1997). Handbook of reference methods for plant analysis. *London. CRC Press*.
- Khani, A., Barzegar, T., Ghahremani, Z. & Nikbakht, J. (2019). The effect of calcium lactate foliar spray on growth, yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cv. New Red Fire under water deficit stress. *Plant Process and Function*, 8 (33), 187-202.
<https://doi.org/10.13128/ahsc8252>
- Khani, A., Barzegar, T., Nikbakht, J. & Ghahremani, Z. (2020). Effect of foliar spray of calcium lactate on the growth, yield and biochemical attribute of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under water deficit stress, *Advances in Horticultural Science*, 34 (1), 11-24.
<https://doi.org/10.13128/ahsc-8252>
- Kooti, W. & Daraei, N. (2017). A review of the antioxidant activity of celery (*Apium graveolens* L.). *Journal of Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 22 (4), 1029-1034.
<https://doi.org/10.1177/215658721771415>
- Kou, L., Yang, T., Liu, X. & Luo, Y. (2015). Effects of pre and postharvest calcium treatments on shelf life and postharvest quality of broccoli microgreens. *Horticultural Science*, 50 (12), 1801-1808.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.2.1801>
- Koutinas, N., Sotiropoulos, T., Petridis, A., Almaliotis, D., Deligeorgis, E., Therios, I. & Voulgarakis, N. (2010). Effects of preharvest calcium foliar sprays on several fruit quality attributes and nutritional status of the kiwifruit cultivar Tsechelidis. *HortScience*, 45 (6), 984-987.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.6.984>
- Liu, K., Yuan, C., Chen, Y., Li, H. & Liu, J. (2014). Combined effects of ascorbic acid and chitosan on the quality maintenance and shelf life of plums.

- Scientia Horticulturae*, 176, 45-53.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.0.027>
- Martin Diana, A., Rico, D., Barry-Ryan, C., Jesu, M. F., Mulcahy, J. & Gary, T.M. (2005). Comparison of calcium lactate with chlorine as a washing treatment for fresh-cut lettuce and carrots: quality and nutritional parameters. *Food and Agriculture*, 85, 2260-2268.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.2254>
- Michalajc, Z. & Dzida, K. (2012). Yielding and biological value of sweet pepper fruits depending on foliar feeding using calcium. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 11 (3), 255-264.
<https://doi.org/10.3906/tar-1501-56>
- Mohd, F.J., Shampazuraini, S., Mohammad, A.A. & Mohamad, N.J. (2015). Effects of different types of foliar fertilizer on growth performance of spider plant (*Cleome gynandra*). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 9(24), 44-48.
- Najafi, R. & Barzegar, T. (2022). The effect of foliar spray of different calcium sources on antioxidant properties and quality of cauliflower (*Brassica oleracea* cv. botrytis 'Romanesco'). *Journal of Horticultural Science*, 36 (3), 577-589. (In Persian).
<https://doi.org/10.22067/jhs.2021.70150.1047>
- Naser, F., Rabiei, V., Razavi, F. & Khademi, O. (2018). Effect of calcium lactate in combination with hot water treatment on the nutritional quality of persimmon fruit during cold storage. *Scientia Horticulturae*, 233, 114-123.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.036>
- Niazi, H., Barzegar, T., Ghahremani, Z. & Nadirkhanlou, L. (2021). Effect of light duration and calcium on growth, yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* cv. New Red Fire). *Journal of Vegetables Sciences*, 4(2), 111-131. (In Persian)
<https://doi.org/10.22034/iuvs.2021.5210.06.1135>
- Olle, M. & Bender, I. (2009). Causes and control of calcium deficiency disorders in vegetables: A review. *Journal of Horticulture Science Biotechnology*. 84, 577-584.
<https://doi.org/10.1080/14620316.2009.11512568>
- Ruiz, J.M., Rivero, R.M., López-Cantarero, I. & Romero, L. (2003). Role of Ca in the metabolism of phenolic compounds in tobacco leaves (*Nicotiana tabacum* L.). *Plant Growth Regulation*, 41, 173-177.
<https://doi.org/10.1023/A:102735842387>
- Ruoyi, K., Zhifang, Y. & Zhaoxin, L. (2005). Effect of coating and intermittent warming on enzymes, soluble pectin substances and ascorbic acid of *Prunus persica* (cv. Zhonghuashoutao) during refrigerated storage. *Food Research International*, 38, 331-336.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.9.015>
- Sajid, M., Ullah, I., Rab, A., Tanveer Shah, S., Wahid, F., Ahmad, N., Ahmad, I., Ali, A., Basit, A., Bibi, F. & Ahma, M. (2020). Foliar application of calcium improves growth, yield and quality of tomato cultivars. *Pure and Applied Biology*, 9(1), 10-19.
<https://doi.org/10.19045/bspab.2020.90002>
- Samarakoon, U., Palmer, J., Ling, P., & Altland, J. (2020). Effects of electrical conductivity, pH, and foliar application of calcium chloride on yield and tipburn of *Lactuca sativa* grown using the nutrient-film technique. *HortScience*, 55(8), 1265-1271.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI15070-20>
- Samuoliene, G., Brazaityte, A., Urbonaviciute, A., Sabajeviene, G. & Duchovskis, P. (2010). The effect of red and blue light components on the growth and development of frigo strawberries. *Zemdirbyste-Agriculture*, 97 (2), 99-104.
- Sánchez-Madrigal, M.A., Neder-Suárez, D., Quintero-Ramos, A., Ruiz Gutiérrez,

- M.G., Meléndez-Pizarro, C.O., Piñón-Castillo, H.A., Galicia-García, T. & Ramírez-Wong, B. (2015). Physicochemical properties of frozen tortillas from nixtamalized maize flours enriched with β -glucans. *Food Science and Technology*, 35, 552-560. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6715>
- Saure, M.C. (2005). Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control. *Scientia Horticulturae*, 105 (1), 65-89.
- Shan, G., Jing-jing, Z., Zi-xuan, Y., Ai-li, J. & Wen-zhong, H. (2011). Effects of calcium lactate treatments on physiological and biochemical changes of fresh-cut cauliflower. *Storage and Process*.
- Siddiqui, M.H., Al-Whaibi, M.H., Sakran, A.M., Basalah, M.O. & Ali, H.M. (2012). Effect of calcium and potassium on antioxidant system of *Vicia faba* L. under cadmium stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 13, 6604-6619. <https://doi.org/10.3390/ijms13066604>
- Singleton, V.L. & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Taiz, L., & Ezeiger, H. (2008). *Plant physiology*. (2nd Ed.). Sinauer Associates Inc. Publisher. Sunderland, Massachusetts.
- Takahashi, S., & Badger, M.R. (2011). Photoprotection in plants: a new light on photosystem II damage. *Trends in Plant Science*, 16 (1), 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.10.001>
- Tedeschi, A., Zong, L., Huang, C.H., Vitale, L., Volpe, M.G. & Xue, X. (2017). Effect of Salinity on Growth Parameters, Soil Water Potential and Ion Composition in *Cucumis melo* cv. Huanghemi in North-Western China. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203 (1), 44-51. <https://doi.org/10.1111/jac.12161>
- Wen-bin, J., Yin-ran, D., Xi, Y. & Xiang-ning, C.H. (2013). Effect of calcium lactate treatments on physiological and biochemical changes of fresh cut spinach. *Science and Technology of Food Industry*, 19-26.
- White, P.J. (2000). Calcium channels in higher plants, *Biochimica et Biophysica Acta Biomembranes*. 1465 (1), 171-189. [https://doi.org/10.1016/S0005-2736\(00\)00137-1](https://doi.org/10.1016/S0005-2736(00)00137-1)