Effect of Sodium Cloride on Nitrate, Ions Accumulation and Nitrate Reductase Activity in Two Rootstocks of Almond

Sakineh Mirzaee[1], Mokhtar Heidari[1*], Mohammad Hossein Daneshvar[1], Noorallah Moalemi[2]

[1.] Department of Horticulture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Khuzestan, Iran

[2.] Department of Horticulture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

Abstract

Limited data published about the effects of salinity on nitrogen assimilation of fruit trees such as almond. A greenhouse experiment was conducted to study the effect of sodium chloride (0, 75 and 150 mM NaCl) on nitrate reductase activity, accumulation of nitrate, proline and some ions in the seedlings of two almond rootstocks (*Prunus dulcis* L.). The results showed that application of 150 mM sodium chloride significantly decreased the total dry weight in the seedling of "Bitter Almond" (2.68 g). In the seedlings of "Sweet Almond" treated with 150 mM sodium chloride, the leaf proline content increased significantly (140 µg. g FW) after 14 days, however, the proline content in leaves of both rootstocks ("Sweet Almond" and "Bitter Almond") was decreased after application of 150 mM for 21 days (43.66 and 47.8 µg. g FW, respectively). Also, sodium chloride decreased the leaf nitrate reductase activity in leaves of both rootstocks. The interaction of effect sodium chloride and salinity duration on Na^+, K^+ and Cl^- concentration was significant. The results suggested that the changes in nitrate content and nitrate reductase activity in almond rootstocks after NaCl treatment is an important biochemical index during salinity treatment and may be resulted to disruption in nitrogen assimilation in almond seedlings.

Keywords: Almond (*Prunus dulcis* L.), Enzyme, Growth, Nitrogen Assimilation, Salinity

* Corresponding Author: mkheidari@asnrukh.ac.ir

Copyright©2019, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially

DOI: 10.22108/ijpb.2019.113740.1120.

زیست‌شناسی گیاهی ایران، سال یازدهم، شمارهٔ چهل و یکم، پاییز ۱۳۹۸، صفحهٔ ۱۶-۱
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۸/۲۶
تاریخ بررسی مجدد: ۱۳۹۷/۱۱/۲۶ و ۱۳۹۸/۰۱/۱۱
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۳/۰۷

اثر کلریدسدیم بر میزان نیترات، تجمع یون‌ها و فعالیت نیترات‌ردوکتاز در دو پایهٔ بادام

سکینه میرزایی[۱]، مختار حیدری[۱*]، محمدحسین دانشور[۱]، نوراله معلمی[۲]
[۱] گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ملاثانی، خوزستان، ایران
[۲] گروه علوم باغبانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، خوزستان، ایران

چکیده

اطلاعات محدودی در زمینهٔ اثر شوری بر اسیمیلاسیون نیتروژن در درختان میوه مانند بادام وجود دارد؛ ازاین‌رو در سال ۱۳۹۱، آزمایشی گلخانه‌ای به‌منظور بررسی اثر کلریدسدیم (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار) بر فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز، تجمع نیترات، پرولین و برخی یون‌ها در دانهال‌های دو پایهٔ بادام (*Prunus dulcis* L.) انجام شد. نتایج نشان دادند تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم به‌طور معناداری موجب کاهش وزن خشک کل دانهال‌های بادام تلخ می‌شود (۲/۶۸ گرم). در دانهال‌های بادام شیرین تیمارشده با ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم، غلظت پرولین برگ پس‌از ۱۴ روز افزایش معناداری داشت (۱۴۰ میکروگرم در گرم وزن تر)؛ باوجوداین، غلظت پرولین در برگ‌های هر دو پایهٔ بادام شیرین و بادام تلخ پس‌از کاربرد ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم به‌مدت ۲۱ روز کاهش معناداری داشت (به‌ترتیب ۴۳/۶۶ و ۴۷/۸ میکروگرم در گرم وزن تر). تیمار با کلریدسدیم موجب کاهش فعالیت نیترات‌ردوکتاز در برگ‌های هر دو پایهٔ بادام شد. برهم‌کنش اثر کلریدسدیم و طول مدت زمان تیمار شوری‌بر غلظت یون‌های سدیم، پتاسیم و کلر معنادار بود. نتایج نشان دادند تغییر غلظت نیترات و فعالیت نیترات‌ردوکتاز در پایه‌های بادام پس‌از تیمار با کلریدسدیم شاخص بیوشیمیایی مهمی طی تیمار شوری است و شوری می‌تواند به اختلال در اسیمیلاسیون نیتروژن در دانهال‌های بادام منجر شود.

واژه‌های کلیدی: اسیمیلاسیون نیتروژن، آنزیم، بادام (*Prunus dulcis* L.)، رشد، شوری

* نگارندهٔ مسؤول: نشانی پست الکترونیک: mkheidari@asnrukh.ac.ir ، شمارهٔ تماس: ۰۶۱۳۶۵۲۴۳۵۰

Copyright©2019, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

مقدمه

گیاه بادام (*Prunus dulcis* L.) از تیرهٔ Rosaceae یکی از محصولات باغبانی مهم در ایران است. ایران یکی از رویشگاه‌های مهم گونه‌های بادام در جهان است و از حدود ۳۰ تا ۴۰ گونه بادام، تعداد ۲۳ گونه بادام وحشی و ۷ دورگ بین‌گونه‌ای در نقاط مختلف ایران رویش دارند (Sabeti, 1994). بر اساس آمار فائو (F.A.O. 2017) دربارهٔ محصول بادام در ایران، سطح زیرکشت ۵۰۸۵۶ هکتار، تولید ۱۱۱۸۴۵ تن میوه و عملکرد ۲۱۹۹/۲ کیلوگرم در هکتار است و بر اساس میانگین تولید سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۶ میلادی، ایران در رتبهٔ سوم کشورهای تولیدکنندهٔ بادام در جهان قرار دارد.

یکی از عوامل مؤثر بر عملکرد و کیفیت محصول بادام، کوددهی و تأمین عناصر غذایی درخت است. نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی برای بادام است؛ وجود نیتروژن در پروتئین‌های برگ (به‌ویژه آنزیم روبیسکو در چرخهٔ کالوین)، اثر نیتروژن بر کارایی شاخه‌های باردهندهٔ (اسپورها) درخت بادام و مقدار زیاد پروتئین ذخیره‌شده در بذر بادام از دلایل اهمیت نیتروژن در گیاه بادام است. در درختان بادام که نیتروژن کافی دریافت کرده باشند، ریزش برگ در پاییز انجام می‌شود؛ ولی در درختان بادام دارای کمبود نیتروژن، پیری برگ و ریزش زودهنگام برگ از اواسط فصل رشد آغاز می‌شود (Brown and Uriu, 1996)؛ همچنین گزارش شده است رشد میوهٔ بادام با تغییرات مقدار نیتروژن برگ و شاخه‌های باردهندهٔ بادام ارتباط دارد (Heerema *et al.*, 2009).

بخش زیادی از کشور ایران در منطقهٔ خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و به‌علت بارندگی کم و شوری آب و خاک، آثار زیان‌بار شوری یکی از موارد مهم تنش در کشت درختان میوه در ایران است. باتوجه‌به گستردگی کشت بادام در ایران و حساس‌بودن این گیاه نسبت به شوری (Najafian *et al.*, 2008)، توانایی تحمل شوری یکی از شاخص‌های مدنظر در گزینش پایه‌های بادام است و مطالعه‌های مختلفی در زمینهٔ بررسی آثار شوری بر جنبه‌های مختلف رشد، جذب عناصر و شاخص‌های فیزیولوژیکی گونه‌های بادام وحشی، ارقام یا پایه‌های بادام انجام شده‌اند. گزارش شده است غلظت‌های ۲۵ تا ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم در چهار گونهٔ وحشی بادام موجب کاهش رشد رویشی، رنگیزه‌های گیاهی، جذب مس، روی، آهن، منگنز و پتاسیم و افزایش پرولین، منیزیم، سدیم، کلر، نیتروژن، فسفر و کلسیم می‌شود و پایهٔ *Amygdalus arabica* مقاوم‌ترین پایه در برابر تنش شوری است (Jahanbazy Goujani *et al.*, 2015). وجود تفاوت در رشد رویشی و جذب عناصر بین شش رقم بادام دیرگل در شرایط تنش شوری (Bybordi, 2013) و کاهش وزن خشک برگ بادام و افزایش معنادار سنتز پرولین، محتوای کلر و سدیم برگ گزارش شده است (Rahnemoun *et al.*, 2014). نتایج بررسی دیگری دربارهٔ اثر تنش شوری در پایه‌های GF677، GNI5 و پایهٔ بادام تلخ در شرایط تنش شوری نشان دادند در پایه‌های GNI5 و Gf677، پرولین بیشترین سهم را در تنظیم اسمزی دارد (Zrig *et al.*, 2015). مطالعه‌های محدودی در زمینهٔ آثار تنش شوری بر فعالیت

آنزیم‌ها در بادام انجام شده‌اند. گزارش شده است اثر تنش شوری بر برخی تغییرات ریخت‌شناسی و بیوشیمیایی بادام ازجمله پرولین برگ و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات‌پراکسیداز برگ معنادار است (Rahnemoun *et al*., 2014).

تقریباً تمام گیاهان عالی می‌توانند نیترات (NO_3^-) را به‌عنوان منبع نیتروژن استفاده کنند. تعداد زیادی از گونه‌های گیاهی ازجمله گیاهان چوبی توانایی احیای نیترات را در ریشه و برگ خود دارند. ریشه نخستین محلی است که احیای نیترات در آن انجام می‌شود و با افزایش غلظت نیترات در ریشه، انتقال آن به شاخساره و اسیمیلاسیون نیتروژن و احیای نیترات در بخش هوایی افزایش می‌یابد (Runge, 1983). آنزیم نیترات‌ردوکتاز نخستین آنزیم در مسیر اسیمیلاسیون نیترات است که نیترات (NO_3^-) را به نیتریت (NO_2^-) احیا می‌کند. فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز، مرحله‌ای کلیدی در اسیمیلاسیون نیترات و سنتز اسیدهای آمینه است (Lea, 1997). احیاب نیترات در برگ با فتوسنتز ارتباط دارد؛ زیرا یکی از مراحل مهم واردشدن نیتروژن معدنی به ترکیبات آلی، احیای نیتریت به آمونیوم است که از کاهش فعالیت نیترات‌ردوکتاز جلوگیری می‌کند و با مشارکت فردوکسین احیاشده (یکی از محصولات فتوسنتز) انجام می‌شود (Lillo *et al*., 2004).

آثار نامطلوب شوری بر دریافت و اسیمیلاسیون نیتروژن یکی از عوامل محدودکنندهٔ رشد گیاهان در شرایط تنش شوری است. رقابت برای جذب کلر و نیترات در سطح غشای سلول‌های ریشه و درنتیجه، کاهش دریافت نیترات یکی از دلایل اثر نامطلوب شوری بر نیتروژن در گیاهان است (Rao and Gnaham, 1990). اثر تنش شوری بر فعالیت آنزیم‌های اسیمیلاسیون نیتروژن یکی دیگر از آثار نامناسب شوری در گیاهان است. اثر شوری بر کاهش نیترات برگ و فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز در برگ دانهال‌های بادام هندی (*Anacardium occidentale* L.) (Viegas *et al*., 1999)، کاهش نیترات و فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز در ریشه و برگ درخت کهور (*Prosoplis alba*) (Oraei *et al*., 2008) و همچنین تغییر فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز و غلظت نیترات در پایه‌های پسته در شرایط تنش شوری پس‌از کاربرد نیترات‌کلسیم (Naseri *et al*., 2015) یا نیترات‌پتاسیم (Naseri *et al*., 2015, 2019) یا پس‌از کاربرد نیترات‌کلسیم در شرایط تنش شوری در گیاه گواوا (Ali-Dinar *et al*., 1999) گزارش شده است.

باتوجه‌به کمبود اطلاعات در زمینهٔ آثار تنش شوری بر اسیمیلاسیون نیتروژن در درختان میوه و همچنین نبود اطلاعات کافی دربارهٔ تغییرات نیتروژن و فعالیت آنزیم‌های مرتبط با اسیمیلاسیون نیتروژن در شرایط تنش شوری در گیاه بادام یا پایه‌های بادام، آزمایش حاضر به‌منظور بررسی اثر تنش کلریدسدیم بر فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز، غلظت نیترات و برخی عناصر در دو پایهٔ بادام تلخ و بادام شیرین انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان (ملاثانی، ۳۵ کیلومتری شمال‌شرق اهواز)

انجام شد. آزمایش در گلخانه و در قالب طرح کاملاً تصادفی و به‌شکل فاکتوریل با تیمارهای کلریدسدیم در سه سطح (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار)، گونهٔ بادام شیرین (*Pruns dulcis* var. *dulcis*) و بادام تلخ (*Prunus dulcis* var. *amara*) و در سه زمان نمونه‌برداری (۷، ۱۴ و ۲۱ روز پس‌از اعمال تیمار شوری) با ۳ تکرار (هر تکرار شامل دو مشاهده و هر مشاهده شامل یک گیاه در یک گلدان) انجام شد.

بذر بادام شیرین و بادام تلخ از تولیدکنندهٔ تجاری نهال در شهرستان محلات (استان مرکزی) تهیه و اندازه‌گیری ابعاد بذرها با کولیس دیجیتال انجام شد. میانگین طول، عرض و قطر بذر برای بادام شیرین به‌ترتیب ۳/۸۱±۳۵/۰۶، ۳/۱۱± ۲۲/۴۳ و ۲/۶۲± ۱۷/۶۹ میلی‌متر و برای بذر بادام تلخ به‌ترتیب ۲/۵۸±۳۵/۱۷، ۳/۱۱± ۲۱/۴۳ و ۲/۶۲± ۱۷/۶۹ میلی‌متر بود. نوک‌چینی بذرها با قیچی باغبانی انجام شد و سپس بذرها به‌مدت ۲۴ ساعت زیر آب جاری خیسانده شدند. به‌منظور برطرف‌کردن رکود فیزیولوژیکی، بذرهای مخلوط‌شده با پرلیت مرطوب به‌مدت ۳ هفته در کیسهٔ پلاستیکی و دمای ۱±۵ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری و سپس برای جوانه‌زنی به دمای ۱±۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد منتقل شدند.

کاشت بذرهای جوانه‌زده با طول ریشهٔ حدود ۲ سانتی‌متر در شن شسته به ابعاد تقریبی ۲ تا ۶ میلی‌متر و وزن مخصوص ۰/۶۶ گرم‌برسانتی‌مترمکعب درون کیسه‌های پلاستیکی ۴ کیلوگرمی انجام شد. به‌منظور تأمین عناصر لازم از محلول غذایی اپستین (Epstein, 1972) شامل ۲۲۴ میلی‌گرم‌درلیتر نیتروژن، ۲۳۵ میلی‌گرم‌درلیتر پتاسیم، ۱۶۰ میلی‌گرم‌درلیتر کلسیم، ۶۲ میلی‌گرم‌درلیتر فسفر، ۳۲ میلی‌گرم‌درلیتر گوگرد، ۲۴ میلی‌گرم‌درلیتر منیزیم، ۱/۷۷ میلی‌گرم‌درلیتر کلر، ۰/۲۷ میلی‌گرم‌درلیتر بور، ۰/۱۱ میلی‌گرم‌درلیتر منگنز، ۰/۱۳ میلی‌گرم‌درلیتر روی، ۰/۰۳ میلی‌گرم‌درلیتر مس، ۰/۵۰ میلی‌گرم‌درلیتر مولیبدن و ۱ میلی‌گرم‌درلیتر آهن در اسیدیتهٔ ۶/۵ استفاده شد.

تا پایان هفتهٔ چهارم پس‌از کاشت، دانهال‌های بادام روزانه با ۳۰۰ میلی‌لیتر محلول اپستین یک‌چهارم غلظت آبیاری شدند. پس‌از رشد دانهال‌ها تا پایان آزمایش، گیاهان با ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول نیم غلظت اپستین آبیاری شدند. برای جلوگیری از تجمع نمک‌ها در کیسه‌های کشت، هر ۵ روز یک‌بار شستشوی کامل محیط ریشهٔ گیاهان با آب انجام شد. دمای روز و شب گلخانه به‌ترتیب ۱±۲۵ و ۱±۱۴درجهٔ سانتی‌گراد بود. پنجاه روز پس‌از رشد دانهال‌ها، تیمار کلریدسدیم در سطوح صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار از طریق اضافه‌کردن به محلول غذایی اعمال شد. به‌منظور ممانعت از واردشدن تنش ناگهانی، سطوح شوری به‌تدریج در چند مرحله (در هر مرحله ۲۵ میلی‌مولار) اعمال شدند و تا رسیدن به سطح شوری مدنظر افزایش یافتند. نمونه‌برداری‌ها در فواصل زمانی ۷، ۱۴ و ۲۱ روز پس‌از رسیدن به سطح کلریدسدیم مدنظر از برگ‌های تازه‌بالغ‌شده انجام شد.

به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک بافت‌ها، نمونه‌های برگ، ساقه و ریشه به طور جداگانه با آب مقطر شستشو شدند، آب اضافی آنها با

قراردادن روی پارچهٔ تمیز گرفته شد و به‌مدت ۴۸ ساعت داخل آون با دمای ۷۲ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شدند. بافت‌ها پس‌از خشک‌شدن با ترازوی دیجیتال (مدل GF- 300، ساخت کشور ژاپن) و دقت ۰/۰۰۱ وزن شدند. نمونه‌های خشک باآسیاب برقی پودر و تا زمان اندازه‌گیری‌ها در پاکت‌های مخصوص نگهداری شدند.

به‌منظور اندازه‌گیری آنزیم نیترات‌ردوکتاز، ۱ میلی‌لیتر ۲- پروپانول (۴ درصد) به ۵ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات (۱۰۰ میلی‌مول، اسیدیتهٔ ۷/۵) حاوی ۳۰ میلی‌مولار نیترات‌پتاسیم افزوده شد. مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم برگ برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز در برگ و ۳۰۰ میلی‌گرم نمونهٔ ریشه برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز در ریشه پس‌از شستشو با آب مقطر در بافر سنجش درون ظرف شیشه‌ای تیره قرار داده شد و پس‌از ۱ ساعت نگهداری در دمای ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد، ۱ میلی‌لیتر سولفانیلیک‌اسید محلول در کلریدریک‌اسید ۲ نرمال و ۱ میلی‌لیتر محلول نفتیل‌اتیلن‌دی‌آمید ۰/۰۲ درصد افزوده شد (پس‌از افزودن این ماده، در لولهٔ آزمایش سریعاً با پارافیلم بسته و محکم تکان داده شد). پس‌از گذشت ۲۰ دقیقه که رنگ صورتی ظاهر شد، میزان جذب در طول موج ۵۴۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV2100، ساخت کشور آمریکا) اندازه‌گیری شد (Stewart *et al.*, 1972). برای تعیین غلظت نیتریت از نیتریت‌سدیم استفاده شد.

اندازه‌گیری نیترات در ریشه و شاخساره با سالیسیلیک‌اسید ۵ درصد (محلول در سولفوریک‌اسید غلیظ) و افزودن سود ۲ نرمال و خواندن میزان جذب در طول موج ۴۱۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر (مدل UV-2100، ساخت آمریکا) انجام شد (Cataldo *et al.*, 1975). برای تهیهٔ منحنی استاندارد از نیترات‌پتاسیم استفاده شد.

به‌منظور اندازه‌گیری عناصر سدیم و پتاسیم، پس‌از سوزاندن ۱ گرم از وزن خشک هر نمونه در کروزهٔ چینی به‌مدت ۵ ساعت در دمای ۵۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد در کورهٔ الکتریکی، خاکستر تهیه و عصاره‌گیری از خاکستر با کلریدریک‌اسید ۲ نرمال انجام شد؛ حجم نهایی عصاره به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و اندازه‌گیری یون‌های سدیم و پتاسیم با دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل ELICO، ساخت هند) انجام شد.

به‌منظور اندازه‌گیری یون کلر، عصاره‌گیری با آب دوبار تقطیر در دمای ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد و به روش تیتراسیون با نیترات‌نقره انجام شد (Chapman and Pratt, 1961).

واکاوی آماری داده‌ها با نرم‌افزار MSTAT-C (نسخهٔ ۱/۴۲) و مقایسهٔ میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال خطای ۵ درصد انجام شد؛ برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر وزن خشک کل دانهال (جدول ۱) نشان دادند اثر زمان تیمار با کلریدسدیم بر وزن خشک کل دانهال‌های بادام در سطح احتمال ۵ درصد معنادار است. اثر تیمارهای پایه، غلظت کلریدسدیم و برهم‌کنش آثار تیمارها بر وزن خشک کل دانهال

در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود.

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر غلظت سدیم و کلر برگ (جدول ۱) نشان دادند اثر غلظت کلریدسدیم در سطح احتمال ۱ درصد و اثر زمان یا برهم‌کنش آثار زمان، غلظت کلریدسدیم و پایه بر غلظت سدیم و کلر برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنادار است.

نتایج جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر غلظت پتاسیم برگ (جدول ۱) نشان دادند اثر پایه بر غلظت پتاسیم معنادار نیست؛ ولی آثار کلریدسدیم و زمان کاربرد و برهم‌کنش آثار تیمارها بر پتاسیم برگ معنادار است.

نتایج تجزیه واریانس نشان دادند برهم‌کنش اثر تیمارهای پایه و زمان کاربرد بر غلظت نیترات ریشه یا فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز معنادار نیست؛ ولی اثر سایر تیمارها و برهم‌کنش آنها بر غلظت نیترات ریشه یا فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز معنادار است (جدول ۱).

نتایج تجزیه واریانس غلظت نیترات برگ (جدول ۱) نشان دادند اثر تیمارهای پایه، کلریدسدیم، زمان و برهم‌کنش آنها بر غلظت نیترات برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنادار است.

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر پایه، زمان و سطوح کلریدسدیم بر شاخص‌های رویشی

تغییرات	درجهٔ آزادی		میانگین مربعات						
		وزن خشک	سدیم برگ	پتاسیم برگ	کلر برگ	نیترات ریشه	نیترات برگ	نیترات‌ردوکتاز
پایه	۱	۱/۸۲**	۰/۸۳n.s	۰/۱۱n.s	۳۱/۷۶n.s	۴/۱۹*	۲/۲۸*	۲/۲۸**
غلظت کلریدسدیم	۲	۰/۹۱**	۲۸۲/۵۹**	۳۸/۸۷**	۲۱۲۵/۶۹**	۱۶۵/۵۸**	۲۱/۰۹**	۱۷/۹۹**
پایه×کلریدسدیم	۲	۱/۴۷**	۴/۷۸n.s	۵/۴۷*	۴۳/۴۳n.s	۱۴/۴۶**	۱/۷۹*	۱۳/۶۰**
زمان	۲	۰/۳۱*	۴/۱۴*	۳۶/۰۵**	۱۱۸/۶۳*	۱۲/۸۳**	۶/۳۶**	۰/۶۳*
پایه×زمان	۲	۲/۴۶**	۲/۸۵n.s	۹/۱۱**	۲۰/۰۹n.s	۱/۸۲n.s	۱۰/۱۱**	۰/۴۳n.s
کلریدسدیم×زمان	۴	۰/۵۱**	۵/۹۳n.s	۹/۷۴**	۵۹/۳۱n.s	۱۳/۱۴**	۰/۹۹*	۱/۴۴**
کلریدسدیم×پایه×زمان	۴	۰/۷۵**	۱/۷۵*	۲/۴۵*	۱۲۲/۲۰*	۳۶/۰۶**	۳/۱۱**	۴/۳۹**
خطای آزمایش	۳۴	۰/۰۷	۲/۹۶	۱/۳۲	۳۹/۶۹	۰/۹۲	۰/۳۷	۰/۲۴
ضریب تغییرات (درصد)	۶/۵۷	۷/۱۷	۲۸/۷۱	۱۲/۰۸	۱۷/۵۹	۱۰/۵۵	۱۲/۲۱	۱۲/۷۱

**، * و n.s به‌ترتیب معناداری در سطح خطای ۱ درصد، ۵ درصد و وجود نداشتن اختلاف معنادار را نشان می‌دهند.

وزن خشک کل: نتایج مقایسهٔ میانگین وزن خشک (جدول ۲) نشان دادند اثر منفی غلظت ۷۵ میلی‌مولار کلریدسدیم بر وزن خشک کل دانهال در بادام تلخ بیشتر از بادام شیرین است. وزن خشک دانهال‌های بادام شیرین پس‌از ۷ یا ۱۴ روز تیمار با غلظت ۷۵ میلی‌مولار کلریدسدیم تفاوت معناداری نداشت (به‌ترتیب ۴/۸۵ و ۴/۴۴ گرم)؛ ولی به‌طور معناداری بیشتر از وزن خشک دانهال‌های بادام

شیرین پس‌از ۲۱ روز (۳/۷۶ گرم) یا وزن خشک دانهال‌های بادام تلخ پس‌از ۷، ۱۴ یا ۲۱ روز تیمار با ۷۵ میلی‌مولار کلریدسدیم بود (به‌ترتیب ۲/۹۲، ۳/۵۴ و ۳/۴۷ گرم). در غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم، افزایش زمان تیمار با کلریدسدیم بر وزن خشک دانهال‌های بادام تلخ آثار منفی بیشتری نسبت به بادام شیرین داشت. پس‌از ۷ یا ۲۱ روز تیمار با غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم، وزن خشک دانهال‌های بادام شیرین (به‌ترتیب ۴/۸۹ و ۳/۶۴ گرم) به‌طور معناداری بیشتر از وزن خشک بادام تلخ بود (به‌ترتیب ۳/۶۲ و ۲/۶۸ گرم).

یون سدیم برگ: بررسی نتایج مقایسهٔ میانگین (جدول ۲) نشان داد یون سدیم برگ در تیمار شاهد به‌طور معناداری کمتر از یون سدیم برگ سایر تیمارهاست. افزایش غلظت کلریدسدیم موجب افزایش معنادار یون سدیم برگ در هر دو پایهٔ بادام شد. بیشترین سدیم در برگ دانهال‌های بادام شیرین در هفتهٔ سوم و در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم مشاهده شد (۱۲/۴۴ میلی‌گرم‌درگرم وزن خشک) که با مقدار سدیم در برگ دانهال‌های بادام شیرین در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار در هفتهٔ دوم (۱۰/۰۴ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) و بادام تلخ در هفته‌های دوم و سوم (به‌ترتیب ۹/۷۵ و ۱۰/۰۳ میلی‌گرم‌درگرم وزن خشک) تفاوت معناداری نداشت؛ اما به‌طور معناداری بیشتر از سدیم برگ در سایر تیمارها بود.

یون پتاسیم برگ: بررسی آثار برهم‌کنش تیمارهای مختلف کلریدسدیم، زمان و پایه بر غلظت پتاسیم برگ (جدول ۲) نشان داد در هر دو پایه، تیمار کلریدسدیم موجب کاهش پتاسیم برگ نسبت به پتاسیم برگ شاهد در روز بیست‌ویکم شده است. در تیمار ۷۵ میلی‌مولار کلریدسدیم، غلظت پتاسیم برگ در هر دو پایهٔ بادام تلخ و بادام شیرین در هریک از زمان‌های ۷، ۱۴ و ۲۱ روز پس‌از آغاز تیمار، تفاوت معناداری با یکدیگر نداشت. با افزایش زمان پس‌از تیمار، غلظت یون پتاسیم افزایش معناداری داشت و در پایهٔ بادام شیرین در روز بیست‌ویکم پس‌از آغاز تیمار (۹/۵۶ میلی‌گرم‌درگرم وزن خشک) به‌طور معناداری بیشتر از روز هفتم (۶/۸۹ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) بود؛ ولی در پایهٔ بادام تلخ، غلظت یون پتاسیم در روز بیست‌ویکم (۱۱/۴ میلی‌گرم‌درگرم وزن خشک) به‌طور معناداری بیشتر از غلظت یون پتاسیم برگ در روزهای هفتم و چهاردهم (به‌ترتیب ۸/۳۳ و ۸/۳۶ میلی‌گرم‌درگرم وزن خشک) بود. در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم، غلظت یون پتاسیم در روز هفتم پس‌از آغاز تیمار شوری در پایهٔ بادام تلخ به‌طور معناداری کمتر از پایهٔ بادام شیرین (به‌ترتیب ۵/۶۹ و ۷/۹۹ میلی‌گرم‌درگرم وزن خشک) بود.

یون کلر برگ: بررسی نتایج مقایسهٔ میانگین (جدول ۲) نشان داد پس‌از اعمال تیمارهای ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم، غلظت کلر برگ در دانهال‌های هر دو پایهٔ بادام افزایش معناداری داشته است. در غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم، در هر سه زمان نمونه‌برداری ۷، ۱۴ و ۲۱ روز پس‌از آغاز تیمار کلریدسدیم، غلظت کلر در برگ دانهال‌های بادام تلخ و شیرین به‌طور معناداری بیشتر از غلظت کلر در برگ دانهال‌های بادام تلخ و شیرین تیمار شاهد (بدون کاربرد کلریدسدیم) بود. در تیمار ۷۵ میلی‌مولار کلریدسدیم پس از ۱۴ و ۲۱ روز، غلظت کلر برگ به‌طور معناداری بیشتر از تیمار شاهد بود.

جدول ۲- برهم‌کنش اثرهای کلریدسدیم و زمان قرارگیری در معرض تنش بر وزن خشک کل و غلظت یون‌ها در برگ دانهال‌های بادام

کلریدسدیم (میلی‌مولار)	پایه	زمان	وزن خشک دانهال (گرم)	سدیم برگ (میلی‌گرم/گرم وزن خشک)	پتاسیم برگ (میلی‌گرم/گرم وزن خشک)	کلر برگ (میلی‌گرم/گرم وزن خشک)
صفر (شاهد)	بادام شیرین	۷	۳/۷۴^{cde}	۱/۶۳^{f}	۹/۴۶۵^{de}	۱۹/۷۲^{fg}
		۱۴	۳/۸۱^{cde}	۱/۸^{f}	۱۱/۲۴^{bcd}	۲۷/۶۱ ^{ef}
		۲۱	۴/۱۱^{bcd}	۱/۸۵^{f}	۱۲/۷۴^{ab}	۲۷/۶۱ ^{ef}
	بادام تلخ	۷	۳/۵۱^{e}	۱/۵۵^{f}	۸/۱۱^{ef}	۱۵/۷۸^{g}
		۱۴	۴/۱۹^{bc}	۲/۲۸^{ef}	۱۱/۸۹^{abc}	۲۷/۶۱ ^{ef}
		۲۱	۴/۸۴^{a}	۲/۳۸^{ef}	۱۳/۹۰^{a}	۲۵/۶۴^{efg}
۷۵	بادام شیرین	۷	۴/۸۵^{a}	۵/۶۹^{d}	۶/۸۹^{fg}	۲۹/۵۸^{de}
		۱۴	۴/۴۴^{ab}	۶/۱^{cd}	۸/۱۵^{ef}	۳۷/۴۷^{bcd}
		۲۱	۳/۷۶^{cde}	۸/۱۴^{bcd}	۹/۵۶^{de}	۴۱/۴۲^{abc}
	بادام تلخ	۷	۳/۹۲^{cde}	۵/۱۲^{de}	۸/۳۳^{ef}	۳۳/۵۳^{cde}
		۱۴	۳/۵۴^{e}	۵/۷۶^{d}	۸/۳۶^{ef}	۴۱/۴۲^{abc}
		۲۱	۳/۴۷^{e}	۶/۵۶^{cd}	۱۱/۴۰^{bcd}	۴۵/۳۶^{abc}
۱۵۰	بادام شیرین	۷	۴/۸۹^{a}	۷/۵۶^{bcd}	۷/۹۹^{ef}	۴۳/۳۹^{abc}
		۱۴	۳/۳۸^{e}	۱۰/۰۴^{ab}	۹/۴۶^{de}	۴۷/۳۳^{ab}
		۲۱	۳/۶۴^{de}	۱۲/۴۴۰^{a}	۹/۸۵^{de}	۴۱/۴۲^{abc}
	بادام تلخ	۷	۳/۶۲^{de}	۹/۱۹۷^{bc}	۵/۶۹^{g}	۴۷/۳۳^{ab}
		۱۴	۳/۵۶^{e}	۹/۷۴۶^{ab}	۷/۹۰۹^{ef}	۵۱/۲۸^{a}
		۲۱	۲/۶۸^{f}	۱۰/۰۳^{ab}	۱۰/۵۹^{cd}	۴۱/۴۲^{abc}

حرف‌های یکسان در هر ستون بیان‌کنندهٔ وجودنداشتن اختلاف معنادار با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال خطای ۵ درصد است.

نیترات ریشه: بررسی نیترات ریشه (جدول ۳) نشان داد کاربرد تیمارهای ۷۵ یا ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم موجب کاهش نیترات ریشه در هر دو پایهٔ بادام تلخ و بادام شیرین می‌شود؛ ولی این کاهش در پایهٔ بادام تلخ بیشتر از پایهٔ بادام شیرین است. مقدار نیترات ریشه در پایهٔ بادام شیرین پس‌از ۲۱ روز تیمار با ۷۵ میلی‌مولار کلریدسدیم، کاهش معناداری نسبت به زمان‌های ۷ یا ۱۴ روز یا تیمار شاهد در هر سه زمان داشت. در پایهٔ بادام تلخ پس‌از کاربرد غلظت ۷۵ میلی‌مولار کلریدسدیم، نیترات ریشه در هر سه زمان نمونه‌گیری کاهش معناداری نسبت به تیمار شاهد داشت. در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم، نیترات ریشه در پایهٔ بادام شیرین در روز هفتم تفاوت معناداری با نیترات ریشه در تیمار شاهد نداشت (به‌ترتیب ۹/۶۷ در مقایسه با ۱۱/۱۸ میلی‌گرم‌درگرم وزن خشک)؛ همچنین نیترات ریشه در پایه‌های بادام تلخ و بادام شیرین در روز هفتم پس‌از کاربرد تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم تفاوت معناداری نداشت؛ ولی ۱۴ و ۲۱ روز پس‌از تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم، کاهش معناداری در نیترات ریشهٔ هر دو پایهٔ بادام وجود داشت و این کاهش در پایهٔ بادام تلخ شدیدتر بود. کمترین نیترات

در ریشهٔ دانهال‌های بادام تلخ در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار در هفتهٔ سوم پس‌از اعمال تیمار کلریدسدیم مشاهده شد (۳/۶۵ میلی‌گرم‌درگرم وزن خشک) که به‌طور معناداری کمتر از نیترات ریشه در تمام تیمارها بود.

نیترات برگ: بررسی نتایج مقایسهٔ میانگین (جدول ۳) نشان داد نیترات در برگ هر دو پایهٔ بادام تلخ و شیرین در روزهای هفتم و چهاردهم در تیمار شاهد تفاوت معناداری ندارد؛ ولی در روز بیست‌ویکم، افزایش معنادار نیترات در هر دو پایه وجود دارد و در روز بیست‌ویکم در تیمار شاهد، نیترات در پایهٔ بادام تلخ به‌طور معناداری بیشتر از نیترات بادام شیرین یا سایر تیمارهاست. در بادام شیرین، مقدار نیترات در روز چهاردهم تیمار ۷۵ میلی‌مولار کلریدسدیم کاهش معناداری نسبت به روز هفتم داشت (۳/۷۴ در مقایسه با ۵/۳ میلی‌گرم‌درگرم وزن خشک). در بادام تلخ، نیترات در روزهای چهاردهم و بیست‌ویکم کاهش معناداری نسبت به روز هفتم داشت (به‌ترتیب ۳/۰۳ و ۳/۶ در مقایسه با ۶/۱۱ میلی‌گرم‌درگرم وزن خشک). در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم، تنها در روز بیست‌ویکم در بادام تلخ کاهش معنادار نیترات نسبت به روزهای هفتم و چهاردهم وجود داشت (۳/۷۶ در مقایسه با ۴/۹ و ۵/۱۱ میلی‌گرم‌درگرم وزن خشک) و در بادام شیرین، نیترات برگ در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار در زمان‌های مختلف تفاوت معناداری نداشت.

فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز: نتایج مقایسهٔ میانگین نشان دادند بیشترین فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز در برگ دانهال‌های بادام شیرین در تیمار شاهد در روز بیست‌ویکم وجود دارد (۷/۷۲ میکرومول نیتریت در گرم وزن تر بافت در ساعت) که با فعالیت این آنزیم در برگ سایر تیمارها اختلاف معناداری دارد (جدول ۳). کمترین فعالیت نیترات‌ردوکتاز در دانهال‌های بادام شیرین پس‌از ۲۱ روز از آغاز تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم وجود داشت (۲/۴۶ میکرومول نیتریت در گرم وزن تر بافت در ساعت) که با فعالیت نیترات‌ردوکتاز در برگ دانهال‌های بادام شیرین در هفتهٔ دوم و سوم و بادام تلخ در هفتهٔ سوم تیمار ۷۵ میلی‌مولار کلریدسدیم یا فعالیت آنزیم در بادام شیرین در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار در هفتهٔ دوم اختلاف معناداری نداشت؛ اما به‌طور معناداری کمتر از فعالیت این آنزیم در سایر تیمارها بود. در تیمار ۷۵ میلی‌مولار کلریدسدیم، افزایش زمان نمونه‌برداری موجب کاهش معنادار فعالیت نیترات‌ردوکتاز در برگ دانهال‌های بادام تلخ شد و فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز در روزهای هفتم و بیست‌ویکم پس‌از آغاز تیمار شوری (به‌ترتیب ۲/۷۸ و ۲/۶۱) به‌طور معناداری کمتر از فعالیت این آنزیم در روز هفتم پس‌از آغاز تیمار کلریدسدیم بود (۴/۳۵). فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز در برگ دانهال‌های بادام شیرین در روزهای هفتم، چهاردهم و بیست‌ویکم پس‌از آغاز تیمار ۷۵ میلی‌مولار کلریدسدیم تفاوت معناداری نداشت.

جدول ۳- مقایسهٔ میانگین اثر پایه، زمان نمونه‌گیری و سطوح کلریدسدیم بر میزان فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز برگ و نیترات ریشه

و برگ

کلریدسدیم (میلی‌مولار)	پایه	زمان	نیترات ریشه (میلی‌گرم/گرم وزن خشک)	نیترات برگ (میلی‌گرم/گرم وزن خشک)	نیترات‌ردوکتاز برگ (میکرومول نیتریت/گرم وزن تر/ساعت)
صفر	بادام شیرین	۷	۱۱/۱۸^{cd}	۴/۶۸^{defg}	۵/۵۱^{b}
		۱۴	۱۱/۹۶^{bc}	۵/۷۴^{cd}	۵/۲۲^{bc}
		۲۱	۱۲/۱۲^{bc}	۶/۸۴^{b}	۷/۷۳^{a}
	بادام تلخ	۷	۱۲/۸ ^{bc}	۵/۲۷^{cde}	۳/۴۱^{fg}
		۱۴	۱۳/۵۳ ^{b}	۶/۲۲^{bc}	۳/۵۳^{efg}
		۲۱	۱۷/۷۱^{a}	۸/۶۷^{a}	۴/۴۴^{cd}
۷۵	بادام شیرین	۷	۱۰/۴۵^{cd}	۵/۳^{cde}	۳/۶۷^{def}
		۱۴	۱۰/۴۰^{cd}	۳/۷۴^{hi}	۲/۸۷^{fgh}
		۲۱	۷/۴۸^{fgh}	۴/۵۲^{efgh}	۲/۷۵^{fgh}
	بادام تلخ	۷	۷/۸۶^{fg}	۶/۱۱^{bc}	۴/۳۵^{cde}
		۱۴	۷/۲۶^{fgh}	۳/۰۳^{i}	۲/۷۸^{fgh}
		۲۱	۶/۸۱۰^{ghi}	۳/۶۰^{hi}	۲/۶۱^{gh}
۱۵۰	بادام شیرین	۷	۹/۶۷^{de}	۴/۴۶^{efgh}	۳/۱۶ ^{fgh}
		۱۴	۵/۹۲^{hi}	۴/۰۸^{fghi}	۲/۸۵^{fgh}
		۲۱	۵/۳۸^{i}	۳/۶۵^{hi}	۲/۴۶^{h}
	بادام تلخ	۷	۸/۶۲^{ef}	۵/۱۱^{cdef}	۴/۷۸^{bc}
		۱۴	۵/۸۹^{hi}	۴/۹^{defg}	۳/۴۷^{efg}
		۲۱	۳/۶۵^{j}	۳/۷۶^{ghi}	۳/۱۶^{fgh}

حرف‌های یکسان در هر ستون بیان‌کنندهٔ وجودنداشتن اختلاف معنادار با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال خطای ۵ درصد است.

بحث

نتایج آزمایش حاضر نشان دادند اثر کلریدسدیم بر کاهش معنادار وزن خشک در پایهٔ بادام تلخ بیشتر از پایهٔ بادام شیرین است (جدول ۲). اثر تنش شوری بر کاهش وزن خشک گیاه بادام در آزمایش‌های پیشین نیز گزارش شده است (Zrig *et al*., 2015; Oraei *et al*., 2008; Dejampour *et al*., 2013; Rahnemoun *et al*., 2014). باتوجه‌به اهمیت اختلاف رشد به‌عنوان شاخص تحمل به شوری (Ferreira-Silva *et al*., 2008)، اثر منفی تنش شوری بر تخریب کلروفیل وکاهش فتوسنتز و درنتیجه، کاهش تولید کربوهیدرات به‌علت تجمع کلر یکی از دلایل کاهش وزن خشک دانهال پایه‌های بادام است. کاهش رشد و کاهش سطح برگ (Najafian *et al*., 2008)، افزایش درصد برگ‌های نکروزه به‌علت تجمع یون‌های سدیم و کلر و درنتیجه، کاهش سطح فتوسنتزکننده در گیاه (Oraei *et al*., 2008; Dejampour *et al*., 2013)، کاهش میزان کلروفیل برگ (Oraei *et al*., 2008; Najafian *et al*., 2008; Dejampour *et al*., 2013)، کاهش شدت فتوسنتز (Oraei *et al*., 2008) و کاهش کارایی کوانتومی فتوسنتز (Momenpour *et al*., 2015) از دیگر دلایل کاهش فتوسنتز در گیاه بادام به شمار می‌آیند.

نتایج آزمایش حاضر نشان دادند در شرایط تنش کلریدسدیم، غلظت یون‌های سدیم و کلر در برگ هر دو پایهٔ بادام افزایش و غلظت یون پتاسیم کاهش معنادار دارد (جدول ۲). اثر تنش شوری بر افزایش غلظت یون‌های سدیم و کلر و کاهش تجمع پتاسیم برگ در بادام در مطالعه‌های پیشین نیز تأیید شده است (Oraei *et al*., 2008; Najafian *et al*., 2008; Dejampour *et al*., 2013; Jahanbazy Goujani *et al*., 2015; Zrig *et al*., 2015). پیشنهاد شده است اگر تنش شوری شدید نباشد، تجمع یون‌های کلر و سدیم در تنظیم اسمزی برگ دخالت دارد (Greenway and Munns, 1980). در شرایط تنش شوری، عامل اصلی شیب پتانسیل آب بین نقاط رشد در شاخساره و آوند چوب توسط شیب اسمزی ناشی از تجمع یون‌های کلر و سدیم در شاخساره ایجاد می‌شود (Araujo *et al*., 2006). گزارش شده است افزایش یون‌های سدیم و کلر در شرایط تنش شوری در برگ‌های پایهٔ بادام GN15 در تنظیم اسمزی دخالت دارد؛ این سازوکار حفظ فشار آماس برگ با استفاده از تجمع یون‌ها به‌ویژه کلر موجب ایجاد سمیت یونی و اختلال در فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه می‌شود (Zrig *et al*., 2015).

نتایج آزمایش حاضر نشان دادند افزایش معنادار سدیم برگ به بیش از ۹ میلی‌گرم‌درگرم وزن خشک در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار در هر دو پایهٔ بادام وجود دارد (جدول ۲). پیشنهاد شده است بروز علائم سوختگی حاشیه‌ای در برگ‌های دانهال‌های ژنوتیپ‌های مختلف بادام (Rahnemoun *et al*., 2014)، مرگ برگ‌های مسن در دانهال‌های بادام پایهٔ GN15 (Zrig *et al*., 2015)، به‌هم‌خوردن نسبت کلر به نیترات (Greenway and Munns, 1980; Cerezo *et al*., 1999) و اختلال در فعالیت آنزیم‌های برگ مانند نیترات‌ردوکتاز (Viegas *et al*., 1999; Naseri *et al*., 2015, 2019) یا افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی مانند کاتالاز و آسکوربات‌پراکسیداز (Rahnemoun *et al*., 2014) ازجمله آثار تجمع زیاد یون‌های سدیم یا کلر در برگ طی شرایط تنش شوری‌اند.

نتایج آزمایش حاضر نشان دادند تجمع نیترات در ریشه و برگ دانهال‌های هر دو پایهٔ بادام تلخ و بادام شیرین طی تنش شوری کاهش معناداری دارد (جدول ۳). گزارشی در زمینهٔ اثر تنش شوری بر تجمع نیترات در گیاه بادام منتشر نشده است، ولی اثر تنش شوری بر کاهش نیترات در گونه‌های پسته (Heidari, 2004; Naseri *et al*., 2015, 2019)، بادام هندی (Viegas *et al*., 1999)، مرکبات (Iglesias *et al*., 2004) و درخت *Prosopis alba* (Meloni *et al*., 2004) گزارش شده است. یکی از دلایل کاهش جذب نیترات در شرایط تنش شوری، اثر مستقیم رقابت بین آنیون‌های کلر و نیترات در سطح غشای سلول‌های ریشه و کاهش امکان جذب نیترات به‌علت مقدار زیاد یون کلر در محیط ریشه است (Viegas *et al*., 1999). دلایل دیگر کاهش جذب نیترات توسط گیاهان در شرایط تنش شوری شامل اثر تخریبی یون‌های سدیم و کلر بر غشای سلول، تغییر ساختار پروتئین‌های غشا و درنتیجه کاهش استحکام غشا (Cramer *et al*., 1985) یا کاهش جذب آب توسط ریشه و ایجاد تنش اسمزی در محیط ریشه بر اثر وجود مقدار زیاد یون‌های

سدیم و کلر (Viegas *et al*., 1999) یا کلر و سولفات (Ceyhan and Ali, 2002) است.

نتایج آزمایش حاضر نشان دادند در تمام تیمارها به‌جز تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار پس‌از ۲۱ روز، نیترات ریشه بیشتر از نیترات برگ است (جدول ۳). انتقال نیترات از ریشه به بخش هوایی از طریق آوند چوب انجام می‌شود؛ گونهٔ گیاهی و شرایط محیطی بر غلظت نیترات در آوند چوب اثر دارد (Smirnoff and Stewart, 1985) و پیشنهاد شده کاهش دریافت آب توسط برگ از دلایل کاهش انتقال نیترات ریشه به برگ است (Viegas *et al*., 1999). بر اساس نتایج آزمایشی در گیاه هالوفیت *Plantgo maritima* مشخص شد یکی از دلایل اثر کلریدسدیم بر میزان دریافت نیترات در شاخساره، برهم‌کنش کلریدسدیم و ناقلان نیترات در غشای پلاسمایی ریشه یا اثر کلریدسدیم بر فرایندهای مربوط به انتقال ترکیبات حاوی نیتروژن است (Rubinigg *et al*., 2003). یکی دیگر از عوامل بازدارندهٔ جذب و انتقال ترکیبات حاوی نیتروژن در شرایط تنش شوری، اثر یون‌های نیتریت است. افزایش یون‌های نیتریت در شرایط تنش شوری موجب ایجاد سمیت برای سلول‌های گیاهی به‌ویژه دستگاه فتوسنتزی می‌شود. نیتریت در شکل‌های اسیدی مانند نیتروزاسید می‌تواند به‌آسانی از غشاها عبور کند (Sinclair, 1987)؛ همچنین نیتریت می‌تواند سبب تشکیل مونوکسیدنیتروژن (NO) شود که با رادیکال‌های آزاد اکسیژن واکنش می‌دهد و پروکسی‌نیتریت (Peroxynitrite) را تولید می‌کند؛ این ترکیب با ویژگی اکسیدکنندگی قوی می‌تواند با نیترات یا تیروزین در غشای پلاسمایی واکنش دهد و به تغییر فعالیت پروتئین‌ها منجر شود (Morot-Gaudry-Talarmain *et al*., 2002). تفاوت فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز در ریشه نسبت به برگ دلیل دیگر تفاوت میزان نیترات در ریشه و برگ‌هاست. اگر نیترات جذب‌شده در ریشه احیا نشود، بایستی به شاخساره انتقال یابد. در بخش هوایی، نیترات موجب تحریک رشد ساخساره می‌شود (McDonald *et al*., 1996). فراهم‌بودن پیش‌مادهٔ نیترات برای فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز در ریشه و کاهش انتقال نیترات از ریشه به برگ‌ها به‌علت کاهش انتقال آب به برگ‌ها و درنتیجه، کاهش غلظت نیترات ارسالی به برگ از دلایل اولیهٔ کاهش فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز در برگ‌هاست (Naseri *et al*., 2015). با افزایش زمان تیمار شوری، تجمع یون‌های سدیم و کلر و آثار مستقیم سمیت یون‌ها بر فعالیت آنزیمی از دیگر دلایل کاهش فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز در برگ به شمار می‌آید (Meloni *et al*., 2004; Naseri *et al*., 2015). پیشنهاد شده است یون کلر در این زمینه آثار بازدارندگی بیشتری نسبت به سدیم دارد (Rao and Gnaham, 1990).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج نشان دادند تیمارهای کلریدسدیم سبب کاهش بیشتر وزن خشک دانهال‌های بادام تلخ نسبت به دانهال‌های بادام شیرین می‌شوند و باید این موضوع را در انتخاب بادام تلخ به‌عنوان پایهٔ بادام در شرایط تنش شوری مدنظر داشت.

نتایج اثر معنادار برهم‌کنش آثار غلظت‌های ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم را بر تجمع یون‌های

کلر، سدیم و پتاسیم در برگ دو پایهٔ بادام تلخ و شیرین طی مدت زمان‌های مختلف پس‌از آغاز تیمار تنش کلریدسدیم نشان دادند. افزایش معنادار میزان پرولین برگ، فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز در برگ و تجمع نیترات در برگ و ریشهٔ دو پایهٔ بادام تلخ و شیرین نشان‌دهندهٔ امکان استفاده از شاخص‌های مربوط به اسیمیلاسیون نیتروژن در بررسی پاسخ گیاهان به تنش شوری است؛ همچنین باتوجه‌به اهمیت نیتروژن در رشد و باردهی درختان بادام، لازم به نظر می‌رسد اثر تنش شوری بر اسیمیلاسیون نیتروژن در درختان بادام و پاسخ پایه‌های بادام بومی ایران نسبت به تنش شوری بر اساس فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز یا سایر آنزیم‌های اسیمیلاسیون نیتروژن مطالعه شود.

References

(1) Ali–Dinar, H. M., Ebert, G. and Ludders, P. (1999) Growth, chlorophyll content photosynthesis and water relations in Guava (*Psidium guajava* L.) under salinity and different nitrogen supply. Journal of Horticultural Science 64(2): 54-59.

(2) Araujo, S. A. M., Silveira, J. A. G., Almeida, T. D., Rocha, I. M. A., Morais, D. L. and Viegas, R. A. (2006) Salinity tolerance in the halophyte *Atriplex nummularia* L. grown under increasing NaCl levels. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 10: 848-854.

(3) Brown, P. H. and Uriu, K. (1996) Nutrition deficiencies and toxicities: Diagnosing and correcting imbalances. In: Almond production manual (Ed. Micke, W. C.) 179-188. University of California Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland.

(2008) Changes in physiological indicators associated with salt tolerance

(4) Bybordi, A. (2013) Assessment of tolerance of late-flowering Almond cultivars to salinity. Journal of Crop Production and Processing 3(9): 217-226 (in Persian).

(5) Cataldo, D. A., Schrader, L. E. and Youngs, V. L. (1975) Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. Communications in Soil and Plant Analysis 6: 71-80.

(6) Cerezo, M., García-Agustín, P. and Primo-Millo, E. (1999) Influence of chloride and transpiration on net 15NO3 uptake rate by citrus roots. Annals of Botany 84: 117-120.

(7) Ceyhan, T. and Ali, I. (2002) Changes induced by salinity, demarcating specific ion ratio (Na/Cl) and osmolality in ion and proline accumulation, nitrate reductase activity and growth performance of lettuce. Journal of Plant Nutrition 25: 27-41.

(8) Chapman, H. D. and Pratt, P. F. (1961) Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Los Angeles.

(9) Cramer, G. R., Läuchli, A. and Polito, V. S. (1985) Displacement of Ca^{2+} by Na^{+} from the plasmalemma of root cells. A primary response to salt stress? Plant Physiology 79: 207-277.

(10) Dejampour, J., Aliasgarzadeh, N., Grigorian, V. and Majidi Heravan, E. (2013) Evaluation of salinity tolerance in some interspecific hybrids of *Prunus*. Seed and Plant improvement Journal 3(38): 339-351 (in Persian).

(11) Epstein, E. (1972) Mineral nutrition of plants principles and perspectives. John Wiley and Sons, Inc., New York.

(12) F.A.O. (2017) FAO statistics. Retrieved from http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC. On: 31 August 2019.

(13) Ferreira-Silva, S. L., Silveira, J., Voigt, E., Soares, L. and Viegas, R.

in two contrasting cashew rootstocks. Brazilian Journal of Plant Physiology 20(1): 51-59.

(14) Greenway, H. and Munns, R. (1980) Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 31: 149-190.

(15) Heerema, R. J., Weinaum, S. A., Lampinen, B. D. and Dejong, T. M. (2009) Is nitrogen stress more apparent in shaded, fruiting Almond spurs than in exposed, non-fruiting spurs? Journal of Horticultural Science and Biotechnology 84(3): 355-359.

(16) Heidari, M. (2004) Enzymatic activity, lipid peroxidation, antioxidant status and oxidative biochemical parameters in saline-stressed *Pistacia* rootstocks. PhD thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran (in Persian).

(17) Iglesias, D. J., Levy, Y., Gomez-Cadenas, A., Tadeo, F. R., Primo-Millo, E. and Taloni, M. (2004) Nitrate improves growth in salt-stressed citrus seedlings through effects on photosynthetic activity and chloride accumulation. Tree Physiology 24: 1027-1034.

(18) Jahanbazy Goujani, H., Hosseini Nasr, S. M., Sagheb-Talebi, Kh. and Hojjati S. M. (2015) Effect of salinity stress on growth factors, proline, pigments and absorption of elements in shoot of four wild Almond. Journal of Natural Environment 67(3): 267-278 (in Persian).

(19) Lea, P. J. (1997) Primary nitrogen metabolism. In: Plant biochemistry (Eds. Dey, P. M. and Harbone, J. B.) 258-271. Academic Press, New York.

(20) Lillo, C., Meyer, C., Lea, U. S., Provan, F. and Oltedal, S. (2004) Mechanism and importamce of post-translational regulation of nitrate reductase. Journal of Experimental Botany 55(401): 1275-1282.

(21) McDonald, A. J. S., Ericsson, T. and Larsson, C. M. (1996) Plant nutrition, dry matter gain and partitioning at the whole-plant level. Journal of Experimental Botany 47: 1245-1253.

(22) Meloni, D. A., Gulotta, M. R., Martínez, C. A. and Braz, M. A. O. (2004) The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis alba*. Journal of Plant Physiology 16(1): 39-46.

(23) Momenpour, A., Imani, A., Bakhshi, D. and Rezaei, H. (2015) Evaluation of salinity tolerance in some Almond genotypes grafted on GF677 rootstock base on morphological characteristic and chlorophyll fluorescence. Journal of Plant Process and Function 3(10): 9-28 (in Persian).

(24) Morot-Gaudry-Talarmain, Y., Rockel, P., Moureaux, T., Quillere, I., Leydecker, M. T., Kaiser, W. M. and Morot-Gaudry, J. F. (2002) Nitrite accumulation and nitric oxide emission in relation to cellular signaling in nitrite reductase antisense tobacco. Planta 215: 708-715.

(25) Najafian, S., Rahemi, M. and Tavallali, V. (2008) Effect of salinity on tolerance of two bitter Almond rootstocks, American-Eurasion. Journal of Agricultural and Environmental Sciences (3): 264-268.

(26) Naseri, S., Heidari, M., Jafari, S. and Daneshvar, M. H. (2015) The effect of calcium nitrate on nitrate reductase enzyme activity, amino acid, nitrate and ion concentrations in *Pistachio* seedlings (*P. vera* L.) under conditions of stress of sodium chloride. Journal of Plant Production 4: 48-35 (in Persian).

(27) Naseri, S., Heidari, M., Jafari, S. and Daneshvar, M. H. (2019) Effect of potassium nitrate on the activity of nitrate reductase enzymum, amino acid, nitrate and ion accumulation in Pistachio Seedlings under NaCl Stress Conditions. Journal of Process and Plant Function 7(27): 253-268 (in Persian).

(28) Oraei, M., Tabatabaei, S. J., Fallahi, E. and Imani, A. (2008) The effects of salinity stress and rootstock on the growth, photosynthetic rate, nutrient and sodium concentrations of Almond (*Prunus dulcis* Mill.). Journal of Horticultural Sciences 23(2): 131-140.

(29) Rahnemoun, H., Shekari, F., Dejampour, J. and Khorshidi, M. B. (2014) Salinity effects on some morphological and biochemical changes of Almond. Agriculture Crop Management 15(2): 179-192 (in Persian).

(30) Rao, K. R. and Gnaham, A. (1990) Inhibition of nitrate and nitrate reductase activity by salinity stress in *Sorghum vulgare*. Phytochemistry 29: 1047-1049.

(31) Rubinigg, M., Posthumus, F., Ferschke, M., Elzenga, J. T. M. and Stulen, I. (2003) Effects of NaCl salinity on 15 N-nitrate fluxes and specific root length in the halophyte *Plantago maritima* L. Plant and Soil 250(2): 201-213.

(32) Runge, M. (1983) Physiology and ecology of nitrogen nutrition. In: Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, vol. 12C. (Eds. Lange, O. L., Nobel, P. S., Osmond, C. B. and Ziegler, H.) 163-200. Springer-Verlag, Berlin.

(33) Sabeti, H. (1994) Forests, Trees and Shrubs of Iran. Yazd University Press, Yazd (in Persian).

(34) Sinclair, J. (1987) Changes in thylakoid activity due to nitrite ions. Photosynthesis Research 12: 255-263.

(35) Smirnoff, N. and Stewart, G. R. (1985) Stress metabolites and their role in coastal plants. Vegetatio 62: 273-278.

(36) Stewart, G. R., Lee, J. A. and Orebamjo, T. O. (1972) Nitrogen metabolism of halophyte: Nitrate reductase activity and utilization. New Phytologist 72: 539-546.

(37) Viegas, R. A., Melo, A. R. B. and Silveira, A. G. (1999) Nitrate reductase activity and proline accumulation in cashew in response to NaCl salt shock. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal 11(1): 21-28.

(38) Zrig, A., Ben Mohamed, H., Tounekti, T., Ennajeh, M., Valero, D. and Khemira, H. (2015) A comparative study of salt tolerance of three Almond rootstocks: contribution of organic and inorganic solutes to osmotic adjustment. Journal of Agricultural Science and Technology 17: 675-689.