وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات خاک و آب

نکاتی کاربردی در مورد محلول پاشی عناصر غذایی در گیاهان باغی و زراعی

محمد سعید تدین

نشریه فنی: ۵۸۳

۱۳۹۸

جمهوری اسلامی ایران

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات خاک و آب

نکاتی کاربردی در مورد محلول پاشی عناصر غذایی در گیاهان باغی و زراعی

نگارنده

محمد سعید تدین

عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس

نشریه فنی: ۵۸۳

۱۳۹۸

مشخصات اثر

عنوان: نکاتی کاربردی در مورد محلول پاشی عناصر غذایی در گیاهان باغی و زراعی

نگارنده: محمد سعید تدین

ناشر: موسسه تحقیقات خاک و آب

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات سنا

کارشناس انتشارات: زهرا محمدی

ویراستار: زهرا محمدی

صفحه آرا: سمانه پورمنصور

طراح جلد: راضیه محمدی

سال انتشار: ۱۳۹۸

نشانی: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بعد از رزکان نو، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب، **کد پستی:** ۳۱۷۷۹۹۳۵۴۵ - **صندوق پستی:** ۳۱۱-۳۱۷۸۵

تلفن: ۳۶۲۰۱۹۰۰-۰۲۶ **دورنگار:** ۳۶۲۱۰۱۲۱-۰۲۶

Website: www.swri.ir **Email:** info@swri.ir

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این اثر با شماره ۵۶۸۸۲ در تاریخ ۹۸/۱۰/۳۰ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارندگان است.

فهرست مطالب

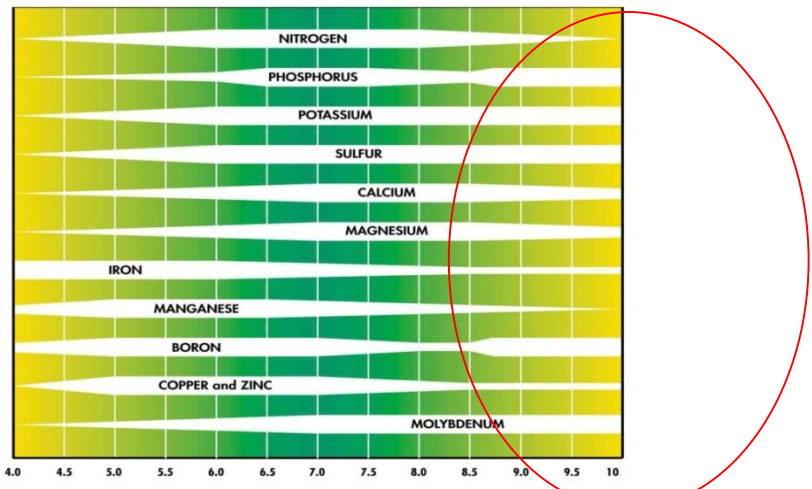
مقدمه ۱
علت محلول پاشی عناصر غذایی ۱
جذب و انتقال ۴
منابع و ترکیبات عناصر سازنده فعال ۴
افزودن مواد کمکی ۸
تأثیر محیط بر کارایی محلول‌پاشی برگی در طول بهار ۱۰
کارایی تغذیه برگی برای گل‌دهی و تشکیل دانه در محصولات زراعی ۱۵
تغذیه برگی در زمان بیشترین نیاز به عناصر غذایی ۱۹
محلول‌پاشی پس از برداشت و اواخر فصل ۲۲
اثر تغذیه برگی بر کیفیت محصول ۲۳
تأثیر وضعیت غذایی گیاه بر کارایی تغذیه برگی ۲۵
تأثیر منبع و فرمولاسیون عناصر غذایی در کارایی محلول‌پاشی برگی ۲۷
سمیت ۳۰
فناوری کاربرد محلول‌پاشی ۳۵
منابع ۳۷

مقدمه

تغذیه برگی به‌طور گسترده در مدیریت پیشرفته محصولات پذیرفته شده است، و به‌منظور اطمینان از عملکرد بهینه‌ی محصولات، به‌ویژه زمانی که تأمین عناصر غذایی از خاک ناکافی یا قطعی نیست، استفاده می‌شود. شناخت بنیادین اصول تغذیه برگی موجب ارتقای کارایی آن در تولید پیشرفته محصولات می‌شود. تغذیه برگی در مقایسه با تغذیه خاکی آسیب کمتری به طبیعت وارد کرده و روشی سریع‌تر به‌ویژه در مراحل بحرانی رشد گیاه برای برطرف نمودن کمبود عناصر غذایی است.

علت محلول‌پاشی عناصر غذایی

محیط خاکی نامناسب و شرایط آب و هوایی نامطلوب موجب محدود شدن قابلیت فراهمی عناصر غذایی و جذب از خاک می‌شود. اگر این محدودیت‌ها همزمان با دوره‌های بحرانی نیاز گیاه باشند، در این شرایط کاربرد عناصر فوق به‌صورت محلول‌پاشی مفید است.



شکل ۱– تغییر حلالیت یا انتقال عناصر غذایی در pH نامطلوب خاک؛ بالا بودن بیکربنات در محدوده قرمزرنگ موجب کاهش حلالیت، جذب، انتقال و تأثیر عناصر غذایی مانند فسفر، آهن، روی، منگنز و مس در خاک‌های آهکی می‌شود.

شرایطی که موجب تغذیه برگی نسبت به تغذیه خاکی می‌شوند شامل:

- هنگامی‌که نیاز گیاه از ظرفیت ریشه در جذب عناصر غذایی تجاوز کند. این اتفاق زمانی روی می‌دهد که:
  - حلالیت یا انتقال عناصر غذایی به سمت ریشه در نتیجه‌ی pH نامطلوب، وجود بی‌کربنات و یا ترکیب شیمیایی عناصر غذایی؛ غلظت بالای یون‌های رقیب در خاک؛ شرایط نامطلوب رشد ریشه به دلیل بیماری‌ها و نماتد یا وجود شرایط نامناسب برای جذب عناصر غذایی از خاک (دمای پایین، رطوبت یا مقدار اکسیژن نامطلوب و تهویه نامناسب و غرقاب شدن) محدود می‌شود (شکل ۱).
  - محدودیت در ظرفیت جذب فیزیولوژی گیاه، برای مثال در اوایل بهار در زمان تشکیل گل و میوه، حرکت عناصر غذایی از جمله کلسیم، بور، آهن، منگنز و روی در آوند آبکش و دمای پایین محدود می‌شود.
- هنگامی‌که نیاز موضعی درون گیاه بیشتر از ظرفیت گیاه در توزیع دوباره عناصر غذایی در داخل گیاه باشد.
  - در مجاورت میوه‌های بزرگ و خوشه، یا درهنگام پر شدن دانه یا توسعه‌ی بافت‌های ذخیره‌ای و با افزایش نیاز موضعی به عناصر غذایی (به‌ویژه نیتروژن و پتاسیم) و تحرک کم برخی عناصر (به‌ویژه کلسیم و بور) در آوند آبکش روی می‌دهد.
  - تحرک عناصر غذایی در داخل گیاه در زمان پیش افتادن گلدهی نسبت به توسعه‌ی برگ به دلیل محدود شدن انتقال عناصر غذایی در آوند چوبی، محدود شود.
  - دوره‌های خشکی یا رطوبت زیاد نیز می‌توانند جریان تبخیر - تعرق را در آوند چوبی محدود کرده و انتقال عناصر غذایی غیرمتحرک در آوند آبکش را محدود نماید.
  - محدود شدن جذب و انتقال عناصر غذایی به دلیل پیر شدن بافت‌ها.
  - کاهش رشد و فعالیت ریشه به دلیل رقابت اندام هوایی با ریشه برای کربوهیدرات‌ها و متابولیت‌ها.

کوددهی بهینه برگی، تلفیقی از علم درک عوامل کنترل‌کننده‌ی کارایی کودهای برگی و معرفی فرمولاسیون‌ها و روش‌های کاربردی است.

- کارایی کوددهی برگی، به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کود، گونه، نوع و سن برگ، خصوصیات شیمیایی کود، شرایط محیطی و روش کاربرد بستگی دارد.

حتی در خاکی‌هایی که به‌خوبی کوددهی شده‌اند، شرایط محیطی موجب محدود شدن انتقال عناصر غذایی از ریشه به اندام‌های هدف می‌شود. تحرک عناصر غذایی (جدول ۱) در برگ و آوند آبکش متفاوت است که به گونه، سن برگ و علل غیرمتحرک شدن عناصر بستگی دارد.

جدول ۱– زمان جذب و تحرک عناصر غذایی در گیاهان

عناصر غذایی	میزان جذب ۵۰ درصد	تحرک در گیاه
نیتروژن به شکل اوره یا بیورت پایین	۲-۰/۵ ساعت	متحرک
فسفر	فسفر ۱۰-۵ روز	متحرک
پتاسیم	۲۴-۱۰ ساعت	متحرک
کلسیم	۲-۱ روز	غیر متحرک
منیزیم	۵-۲ ساعت	متحرک
آهن	۲۰-۱۰ روز	میانگین
روی	۲-۱ روز	میانگین
منگنز	۲-۱ روز	غیرمتحرک
مس	۲-۱ روز	میانگین
بور	۲-۱ روز	در برخی گونه‌ها متحرک
مولیبدن	۲۰-۱۰ روز	میانگین

جذب برگی عناصر غذایی سریع‌تر از ریشه است به‌طوری‌که در شرایط مشاهده نشانه-های کمبود و نیاز به تصحیح سریع نشانه‌های، در شرایط مختل شدن فعالیت ریشه در مرحله زایشی درختان، در مراحل حساس تعیین‌کننده محصول نهایی درختان به‌منظور افزایش محصول و کیفیت میوه تغذیه برگی توصیه می‌شود.

جذب و انتقال

مراحل جذب عناصر غذایی شامل نفوذ از کوتیکول و روزنه‌های برگی و انتقال یون‌ها از طریق سلول به سلول و مسیرهای آوندی (چوبی و آبکش) از برگ‌ها به محل مصرف است. انتشار غیرفعال از کوتیکول، روزنه‌ها و حفره‌های قطبی برگ (aquaporines) انجام می‌پذیرد. میزان جذب بستگی به غلظت محلول در سطح برگ و رطوبت نسبی هوا دارد. انتقال سلول به سلول از طریق انتشار، جذب غشاء سیتوپلاسمی و انتقال فعال با مصرف انرژی همراه است. انتقال عناصر غذایی به نقاط دورتر از طریق حرکت سیمپلاست (آوند آبکش) و حرکت آپوپلاست (آوند چوبی) انجام می‌پذیرد. حرکت سیمپلاستی نیاز به انرژی دارد و برای کاتیون‌ها مناسب‌تر است، اما به دلیل بار منفی دیواره سلولی انتقال آنیون‌ها محدودتر است. انتقال عناصر غذایی توسط رابطه بین منبع و محل مصرف تنظیم و انتقال یون‌ها از محل ساخت قندها (منبع برگ‌های بالغ) به محل مصرف (گل‌ها، میوه‌ها، نقاط مریستمی انتهایی شاخه‌ها و ریشه‌های درحال‌توسعه) انجام می‌شود. انتقال در آوند چوبی (حرکت آپوپلاست) توسط جریان آوند چوبی تنظیم می‌شود. نیروی رانش در این جریان اختلاف پتانسیل آب بین خاک، برگ و اتمسفر است. انتقال آوندچوبی توسط تعرق در طی روز و فشار ریشه در شب کنترل می‌شود. موفقیت معمول محلول‌پاشی بستگی به مواردی از جمله محلول‌پاشی در هوای خنک و زمان‌های مرطوب روز، در سرعت کم‌باد، عدم محلول‌پاشی در شرایط تنش (پیش از آن درختان آبیاری شوند)، آزمون اثرات جانبی و سمیت بر روی تعداد اندکی از درختان چند هفته پیش از محلول‌پاشی اصلی (درختان در مناطق مرطوب دارای کوتیکول نازک و حساس‌تر به صدمه هستند) دارد.

منابع و ترکیبات عناصر سازنده فعال

ترکیبات عناصر سازنده‌ی فعال در محلول‌پاشی برگی با توجه به نیاز گیاه در مراحل مختلف رشد در جداول ۲ و ۳ ارائه شده‌اند. میزان سازگاری این مواد در فرمولاسیون محلول غذایی در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۲- ترکیبات عناصر سازنده‌ی فعال عناصر پرمصرف در فرمولاسیون محلول‌پاشی برگی

عناصر غذایی ماکرو	ترکیبات عنصری رایج
N	Urea, Amonium sulfate, Amonium nitrate
P	H_3PO_4, KH_2PO_4, $NH_4H_2PO_4$, $Ca(H_3PO_4)_2$, K2HPO3
K	K_2SO_4, KCl, KNO_3, K_2CO_3, KH_2PO_4
Mg	$MgSO_4$, $MgCL_2$, $Mg(NO_3)_2$,
S	$MgSO_4$
Ca	$CaCl_2$, Ca-propionate, Ca-acetate

جدول ۳- ترکیبات عناصر سازنده‌ی فعال عناصر کم‌مصرف در فرمولاسیون محلول‌پاشی برگی

عناصر غذایی میکرو	ترکیبات عنصری رایج
B	B-polyols ،(Na2B8O13)Na-octaborate ،(Na2B4O7) ،(B(OH)3)
Fe	Lignosulfonates , FeSO4, Fe (III)-chelates, Fe-complexs Glucoheptonate (C7H13FeO8) ، (C20H24FeO10S2)
Mn	MnSO4, Mn(II)-chelate
Zn	ZnSO4, Zn(II)-chelates,ZnO, Zn-organic compounds

- برای کودهای کم‌مصرف کلات‌ها و کمپلکس‌های سنتزی EDTA (جدول ۴)، گلوکوهپتونات‌ها، پلیول‌ها، آمینواسیدها یا لیگنوسولفونات‌ها توصیه شده‌اند.

جدول ۴–سازگاری ترکیبات عناصر سازنده فعال در فرمولاسیون محلول‌پاشی برگی

(ایچرت و گلدباخ، ۲۰۰۸)

کود	اوره	نیترات آمونیوم	سولفات آمونیوم	مونوآمونیوم فسفات	مونو پتاسیم فسفات	نیترات پتاسیم	سولفات پتاسیم	نیترات کلسیم	کلرید کلسیم	نیترات منیزیم	سولفات منیزیم
اوره											
نیترات آمونیوم	سازگار										
سولفات آمونیوم	سازگار	سازگار									
مونوآمونیوم فسفات	سازگار	سازگار	سازگار								
مونو پتاسیم فسفات	سازگار	سازگار	سازگار	سازگار							
نیترات پتاسیم	سازگار	سازگار	سازگاری محدود	سازگار	سازگار						
سولفات پتاسیم	سازگار	سازگار	سازگار	سازگار	سازگار	سازگار					
نیترات کلسیم	سازگار	سازگار	سازگاری محدود	ناسازگار	ناسازگار	سازگار	سازگاری محدود				
کلرید کلسیم	سازگار	سازگار	سازگاری محدود	ناسازگار	ناسازگار	سازگار	سازگاری محدود	سازگار			
نیترات منیزیم	سازگار	سازگار	سازگار	ناسازگار	ناسازگار	سازگار	سازگار	سازگار	سازگار		
سولفات منیزیم	سازگار	سازگار	سازگار	ناسازگار	ناسازگار	سازگاری محدود	سازگار	سازگاری محدود	سازگاری محدود	سازگار	

جدول ۵– محلول میکرو عناصر غذایی به فرم کلات

ترکیب	فرم کلات و درصد
آهن	کلات آهن Fe-EDTA ۱۳ درصد و Fe-EDDHA ۶ درصد
منگنز	کلات منگنز Mn-EDTA ۱۳ درصد
روی	کلات روی Zn-EDTA ۱۴ درصد
مس	کلات مس Cu-EDTA ۱۴ درصد
ترکیب کامل	کلات EDTA آهن ۷/۱ درصد، منگنز ۳/۴۸ درصد، روی ۱/۰۲ درصد، مس ۰/۷۶ درصد، و مولیبدات آمونیوم ۰/۴۸۵ درصد

اضافه نمودن مواد کمکی به‌طور معنی‌دار به جذب کمک می‌کند.

- کارایی نمک‌های دارای نقطه‌ی نم‌پذیری پایین در تغذیه برگی به دلیل انحلال بهتر، بالاتر است (جدول ۶).

- کارایی نمک‌های دارای نقطه‌ی نم‌پذیری بالا، با استفاده از مواد کمکی جاذب رطوبت افزایش می‌یابد.

جدول ۶- نقطه‌ی نم‌پذیری نمک‌های مختلف (شونهر و لوبر، ۲۰۰۱)

ترکیبات	فرمول شیمیایی	نقطه نم پذیری (%)POD
کلرور کلسیم	$CaCl_2.6H_2O$	۳۳
نیترات کلسیم	$Ca(NO_3).4H_2O$	۵۶
کلرور منیزیم	$MgCl_2.6H_2O$	۳۳
نیترات منیزیم	$Mg(NO_3)_2.6H_2O$	۵۶
سولفات منیزیم	$MgSO_4$	۹۰
نیترات روی	$Zn(NO_3).6H_2O$	۴۲
سولفات روی	$ZnSO_4$	۹۰
کلرور پتاسیم	KCl	۸۶
نیترات پتاسیم	KNO_3	۹۵
سولفات پتاسیم	K_2SO_4	۹۸
کربنات پتاسیم	$K_2CO_3.2H_2O$	۴۴
فسفات پتاسیم	K_2HPO_4	۹۲
فسفیت پتاسیم	KH_2PO_4	۹۵
نیترات آمونیوم	NH_4NO_3	۶۳
پروپیونات کلسیم	$Ca\text{-propionate}.H_2O$	۹۵
لاکتات کلسیم	$Ca\text{-lactate}.5H_2O$	۹۷
استات کلسیم	Ca-acetate	۱۰۰
کلرور آهن	$FeCl_3.6H_2O$	۴۴
نیترات آهن	$Fe(NO_3)_3.9H_2O$	۵۴
نیترات منگنز	$Mn(NO_3)_2.4H_2O$	۴۲
کلرور منگنز	$MnCl_2.4H_2O$	۶۰

افزودن مواد کمکی

مواد کمکی فعال‌ساز موجب افزایش فعالیت، نفوذ، پخش (شکل ۲) و حفظ عناصر غذایی می‌شود و مواد کمکی اسیدی‌کننده (اضافه نمودن اسیدهای معدنی و آلی مانند اسیدسیتریک) خصوصیات محلول را بدون تأثیر بر کارایی فرمولاسیون اصلاح می‌کنند (پنر، ۲۰۰۰). کاربرد اسید برای تنظیم پی اچ محلول در دامنه ۶-۵/۵ انجام می‌شود. کاربرد مواد کمکی بسته به نوع گیاه متفاوت است.

شکل ۲- اثر کاربرد ماده کمکی سورفکتنت بر کاهش کشش سطحی قطرات محلول غذایی

- مواد کمکی بافرکننده یا خنثی‌کننده پی‌اچ محلول برگی را تنظیم و تثبیت می‌کنند. این مواد برای جلوگیری از تغییرات شدید پی اچ محلول کاربرد دارند و اثرات مخرب کاربرد کودهای اسیدی و یا قلیایی را خنثی می‌کنند.

- مواد جذب‌کننده رطوبت به‌صورت آلی، مانند کربوکسی- متیل سلولز (وال و فرناندز، ۲۰۱۱)، یا غیرآلی، مانند کلرید کلسیم که موجب کاهش نقطه‌ی نم‌پذیری و افزایش طول مدت فرایند خشک شدن محلول و موجب افزایش کارایی محلول‌پاشی‌های برگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود. (مثال مواد چسبنده و جاذب رطوبت مانند لاتکس، لسیتین سویا، روغن گیاهی، آمین‌های تالو یا استرهای اسید چرب که خصوصیات مطلوبی را به محلول اضافه می‌کنند). از بین این ترکیبات کاربرد کلرید کلسیم به میزان ۳-۲ قسمت در هزار برای کاهش نقطه نم پذیری و نیز لسیتین سویا به میزان ۲ در هزار برای افزایش چسبندگی و حفظ رطوبت مقرون به‌صرفه بوده و توصیه می‌شود.

- مواد فعال در سطح غیریونی مانند ترکیبات شیمیایی اورگانوسیلیکون (سیلوت L-77)، آلکیل فنول اتوکسیلات، الکیل- پلی‌گلوکوسیدها، الکل‌های چرب اتوکسیلات، اسیدهای

چرب پلی‌اتوکسیلات شده، آمینواسیدهای اتوکسیلات شده، آلکانولامیدها یا استرهای سوربیتان، هستند. اورگانوسیلیکون که به‌عنوان پخش‌کننده قوی نیز شناخته می‌شود، موجب افزایش نفوذ روزنه‌ای (شونهر و همکاران، ۲۰۰۵؛ استیونز، ۱۹۹۳) و افزایش خیس شدن برگ و پخشیدگی می‌شوند. با توجه به عملکرد ترکیبات اورگانوسیلیکون، کاربرد آن‌ها به میزان یک در هزار در محلول‌های غذایی توصیه می‌شود.

– ترکیبات حاوی کلسیم (کلرید کلسیم و استات کلسیم) در ترکیب با مواد فعال روغنی اتوکسیلات شده با اتیلن‌اکسید، بر میزان نفوذپذیری کوتیکولی کلسیم تأثیر می‌گذارد (کرامر و همکاران، ۲۰۰۹ الف؛ کرامر و همکاران، ۲۰۰۹ ب؛ شمیتز -ایبرگر و همکاران، ۲۰۰۲).

– عوامل فعال در سطح یونی که در شوینده‌ها کاربرد دارند، پرکاربردترین مواد بوده و شامل گروه‌های متعدد مانند آلکیل- سولفات، آلکیل- فسفات و آلکیل- پلی‌اتر سولفات‌ها و همچنین پارافین- اولفین- و آلکیل‌بنزن- سولفونات و استرهای سولفات هستند.

– مواد فعال در سطح کاتیونی، ترکیبات آمونیوم چهارجزئی، آلکیل- اتوکسیلات - آمونیوم یا آلکیل پریدینیوم هستند که دارای خصوصیات ضد میکروبی هستند (باداوی و همکاران، ۲۰۰۷).

– مواد فعال در سطح یونی دوقطبی یا آمفوتری، مواد فعالی در سطح ملایم‌تر بوده و غالباً در مواد آرایشی استفاده می‌شوند. مثال‌هایی از مواد فعال در سطح یونی دوقطبی عبارت از آلکیل-بتائین‌ها و لسیتین هستند و از لسیتین سویا به‌عنوان عناصر سازنده‌ی اصلی استفاده می‌کنند.

– در مدیریت تغذیه برگی کاربرد ترکیبات هورمونی به‌منظور افزایش و یا کاهش قدرت مخزن (Sink) در درختان میوه مانند ترکیبات بازدارنده A-Rest ، Cycocel، B-Nine یا ترکیبات تحریک‌کننده رشد ریشه مانند براسینواستروئیدها، Bonzi، Sumagic و یا ترکیبات کنترل میزان گل‌دهی و تشکیل و نمو میوه مانند Florel ، Pro-GIB ، BA و GA و نیز ترکیبات آلی دیگر مانند آمینواسیدها مدنظر قرار دارند (قدرت و همکاران، ۱۳۸۹؛ زارع و همکاران، ۱۳۸۹؛ ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۱؛ تدین و همکاران، ۱۳۹۲).

تأثیر محیط بر کارایی محلول‌پاشی برگی در طول بهار

شرایط نامطلوب در زمان توسعه‌ی اندام‌زایشی خسارت جبران‌ناپذیر دارد. در هوای سرد و مرطوب بهار، غرقاب شدن خاک و کمبود اکسیژن ریشه موجب کاهش جذب و انتقال عناصر غذایی می‌شود (رابرتسون و همکاران، ۲۰۰۹).

رویداد بهار سرد و مرطوب پیش از پیدایش شرایط گرم، که با افزایش رشد سریع اندام هوایی و گل‌دهی همراه است، موجب تب بهاره (پایین بودن دمای خاک و زردی عمومی ناشی از عدم جذب موثر عناصر غذایی از خاک) از طریق ایجاد کمبود گذرای عناصر غیرمتحرک مانند بور، مس و روی می‌شود، که برای باز شدن شکوفه، توسعه لوله گرده، گل‌دهی و رشد رویشی ضروری هستند (مارشنر، ۲۰۱۲). تغذیه برگی می‌تواند موجب شکست خواب در انگور و درختان خزان کننده و تحریک گل آغازی در درختان و به دنبال آن افزایش گل‌دهی، عملکرد و کاهش تناوب باردهی شود (تدین، ۱۳۸۶). برای شکست خواب در مناطق گرمسیر محلول‌پاشی روغن‌ها کاربرد معمول دارد. پیش از کاربرد روغن، تغذیه برگی موجب کاهش مصرف روغن، شکست سریع‌تر و یکنواخت خواب و یکنواختی رسیدن میوه در زمان برداشت می‌شود.

بور: بور عنصر منحصربه‌فردی است و تحرک آن در آوند آبکش وابسته به گونه است (براون و باسیل، ۲۰۱۱). بور در آوندچوبی انتقال می‌یابد و در برگ رسوب می‌کند و عدم تحرک دوباره آن قابل‌توجه است. تحرک دوباره بور از برگ‌های بالغ در گونه‌هایی که پلی اُل‌ها (الکل‌های قندی) را انتقال می‌دهند، اتفاق می‌افتد و محلول‌پاشی برگی بور به‌عنوان روشی مؤثر برای افزایش غلظت این عنصر در جوانه‌ها و گل توصیه می‌شود. محلول‌پاشی بور موجب افزایش عملکرد میوه در گونه‌های قهوه، زیتون، بادام، سیب و گلابی می‌شود (تدین و همکاران، ۱۳۹۳الف). در پی اچ نرمال، بور دارای نفوذپذیری غشایی و کوتیکولی بالا است و به‌سرعت توسط برگ‌ها جذب می‌شود (پیچیونی و وینبام، ۱۹۹۵). در گونه‌هایی که پلی ال را انتقال می‌دهند، بور برگی به‌سرعت در جریان آوند آبکشی از برگ خارج شده و به سمت بافت‌های هدف شامل ریشه‌ها، برگ‌های درحال توسعه‌ی جوان، اندام‌های تولیدمثلی و میوه‌ها، حرکت می‌کند. تحرک نسبی بور درنتیجه شکل‌گیری

ترکیب بور- سوربیتول در آوند آبکش سیب و بادام دیده می‌شود، اما این اتفاق در گردو و پسته روی نمی‌دهد (براون و شلپ، ۱۹۹۷).

- کاربرد برگی بور بر روی درختان پسته و گردو در اواخر مرحله‌ی نهفتگی و رکود (پسته) یا اوایل مرحله‌ی برگ‌دهی (گردو) بلافاصله پیش از باز شدن گل توصیه می‌شود (براون، ۲۰۰۱).

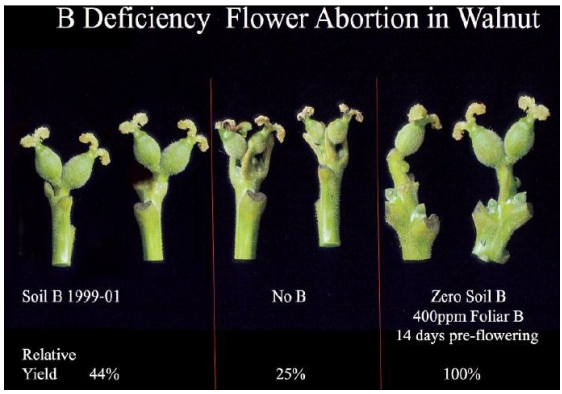
- فواید کاربرد برگی حتی در مقادیر زیاد بور در نمونه برگ (بیش از ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بور در پسته و بیش از ۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بور در گردو) نیز دیده می‌شود.

- کاربرد برگی بور نقش منحصربه‌فردی در افزایش میوه‌دهی در پسته داشته و این امر احتمالاً توسط فراهم شدن موضعی و مستقیم بور در ساختارهای زایشی انجام می‌شود

- کاربرد برگی بور، درست پیش از گل‌دهی، در زیتون (پریکا و همکاران، ۲۰۰۱)، گردو (براون و همکاران، ۱۹۹۹ج؛ کشاورز و همکاران، ۲۰۱۱) و بادام (نایوموورا و همکاران، ۱۹۹۹) توصیه می‌شود.

- در بادام، عملکرد زمانی به حداکثر می‌رسد که بور در ماه شهریور (پس از برداشت) یا اسفندماه (درست پیش از گلدهی) به کار رود.

- تفاوت کارایی پس از برداشت بور در بادام، برخلاف پسته یا گردو (شکل ۳)، به دلیل تفاوت در تحرک بور در این دو گونه است (براون و هو، ۱۹۹۶). بور در آوند آبکش بادام متحرک بوده و کاربرد آن در ماه مرداد و شهریور به‌سرعت از برگ‌ها به سمت جوانه‌های در حال رشد انتقال می‌یابد تا در زمان بهار مصرف شود. در مقابل، بور در پسته غیرمتحرک بوده و کاربردهای برگی در ماه مرداد، مقدار بور اندکی برای جوانه‌های گل در حال رشد فراهم می‌کند.



شکل ۳- تأثیر کمبود بور بر تولیدمثل در گردو (*Juglans regia*). درختان گردو با کاربرد خاکی بور (۲ کیلوگرم بور در هر هکتار) در اواسط تابستان سال ۱۹۹۹، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ تیمار شدند. در برخی درختان، کاربرد برگی با غلظت بور ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر در محلول ۱۴ روز پیش از گل-دهی گل ماده انجام شد. درختان شاهد هیچ بوری را به‌صورت برگی یا خاکی دریافت نکردند. عملکرد به‌صورت زیر بود: شاهد: ۱۲۸۰ کیلوگرم بر هکتار؛ کاربرد خاکی: ۲۰۶۰ کیلوگرم بر هکتار؛ کاربردهای برگی: ۴۵۹۲ کیلوگرم برهکتار (براون و همکاران، ۱۹۹۹ ج).

- میزان جذب برگی بور بستگی به نوع گیاه دارد. میزان جذب بور توسط برگ‌های سیب دو یا سه مرتبه بیشتر از گلابی، آلو و گیلاس شیرین است (پیچیونی و وینبام، ۱۹۹۵). میزان خروج عناصر غذایی از برگ در آوند آبکش برجذب و تحرک دوباره عناصر غذایی در بافت برگ در گونه‌های مختلف تأثیرگذار است.

- کاربرد بور در سیب و بادام که تحرک بور به خارج از برگ‌ها و میوه قابل‌توجه است (پیچیونی و وینبام، ۱۹۹۵)، سبب کاهش غلظت بور برگی می‌شود، اما در پسته یا گردو عنصر بور غیرمتحرک بوده و کمبود آن در برگ دیده نمی‌شود. ازاین‌رو تحت این شرایط، تجزیه بافت برگ برای تعیین مقدار بور در گردو و پسته نادرست است.

روی: روی عامل کمکی در بیش از ۳۰۰ آنزیم و پروتئین بوده و دارای تأثیر زودهنگام و ویژه بر تقسیم سلولی، متابولیسم اسید نوکلئیک و سنتز پروتئین است (مارشنر، ۲۰۱۲).

- به دلیل نیاز زیاد به عنصر روی در بافت‌های در حال رشد گیاه در بهار، درختان میوه در اوایل فصل رشد با کمبود روی مواجه می‌شوند. پاسخ بسیاری از گونه‌ها (شامل گردو،

پسته، سیب، آووکادو، گردوی امریکایی، ماکادامیا) به عنصر روی در محلول‌پاشی برگی در بهار زیاد است (هوت و ویمپانی، ۲۰۰۶؛ کشاورز و همکاران، ۲۰۱۱؛ پریی ۲۰۰۷؛ ژنگ و براون، ۱۹۹۹).

– در سطح سلولی، انتقال تراغشایی، تنظیم و جذب و ترکیب بیشتر عناصر تغذیه‌ای به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم متأثر از وضعیت متابولیکی سلول و شدت نور است. در پسته و گردو جذب روی تحت تأثیر نور نیست (ژنگ و براون، ۱۹۹۹) اما محلول‌پاشی در تاریکی موجب محدود شدن میزان جذب به دلیل بسته شدن روزنه‌ها در طول شب می‌شود.

– در گونه‌های خزان کننده کمبود روی می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر تولید و فیزیولوژی گرده، آناتومی گل و عملکرد داشته باشد (پندی و همکاران، ۲۰۰۶؛ پندی و همکاران، ۲۰۰۹؛ شارما و همکاران، ۱۹۹۰؛ سویتلیک، ۲۰۰۲).

– روی در سطح برگ عموماً از میزان نفوذ پایینی برخوردار است (۱ تا ۵ درصد) و دارای تحرک آوند آبکشی محدودی است. محلول‌پاشی روی بیشترین تأثیر بر بافت‌هایی دارد که به‌صورت موضعی و مستقیماً محلول را دریافت می‌کنند (هوت و ومپ انی، ۲۰۰۶؛ کشاورز و همکاران، ۲۰۱۱؛ پریی، ۲۰۰۷). جابجایی محدود روی به نفوذ ضعیف یا ظرفیت پیوند بالای آن در بافت‌های برگ نسبت داده می‌شود (شکل ۴) (ژنگ و براون، ۱۹۹۹).

شکل ۴- عنصر روی در درختان پسته بسیار غیرمتحرک است. کاربردهای مکرر روی کمبود را در طرف راست درخت اصلاح کرد؛ اما تأثیری برکمبود روی در طرف چپ درخت نداشت.

– کاربرد بور و روی تأثیر هم‌افزایی در جذب دارند. محلول‌پاشی مخلوط بور و روی در مرحله‌ی پیش از گل‌دهی سیب، عملکرد را از ۲۲ تا ۵۰ درصد افزایش می‌دهند (تدین و همکاران، ۱۳۹۳ب) (جدول ۷). در گردو (کشاورز و همکاران، ۲۰۱۱) ترکیب بور و روی با غلظت‌های ۱۷۴ و ۱۰۵۰ میلی‌گرم بر لیتر دارای تأثیر معنی‌داری بر رشد رویشی و زایشی ازجمله جوانه زدن گرده، تشکیل میوه، رشد رویشی، وزن دانه، درصد مغز، طول دانه و مغز و شاخص کلروفیل در بالاترین سطح داشت. محلول‌پاشی اوره، روی، بور و کلسیم در زمان میوه بندی انجیر موجب افزایش معنی‌دار محصول میوه و کاهش ریزش میوه شد (تدین و همکاران، ۱۳۸۶).

جدول ۷- جدول زمان‌بندی تغذیه برگی درخت سیب (اشنهر و همکاران، ۲۰۰۲)

پس از برداشت	توسعه میوه Fruit development, filling to maturation	میوه بندی Fruit set	ریزش گل- برگ Petal fall	باز شدن جوانه‌های گل Pink or white bud	ظاهر شدن جوانه‌های برگ Mous ear	باز شدن جوانه‌ها Bud burst
کاربرد نیتروژن به فرم اوره، نیترات پتاسیم غنی‌شده با فسفر، روی، بور	محلول‌پاشی کلسیم، مونوپتاسیم فسفات، فسفیت پتاسیم یا کلرورپتاسیم	کاربرد اوره، نیترات پتاسیم غنی‌شده با فسفر، نیترات، کلرور و یا سولفات منیزیم و منگنز	کاربرد مونوآمونیوم فسفات، اوره و نیترات کلسیم		کاربرد اوره، روی، بور و کلسیم پیش از باز شدن جوانه‌های گل (میکرو عناصر غذایی به فرم کلات)	

– برگ‌های جوان عناصر غذایی بیشتری را جذب می‌کنند. برگ‌های نابالغ پسته و بادام ۵۵ و ۲۵ درصد عنصر روی بیشتری را نسبت به برگ‌های کامل جذب می‌کنند (ژانگ و بروان، ۱۹۹۹).

– احیاء و جذب عناصر توسط سلول‌های برگی بسیار مهم است، احیاء و جذب عنصر روی توسط گردو کمتر از پسته است (ژنگ و براون، ۱۹۹۹). این کارایی پایین در ارتباط با لایه‌ی مومی کوتیکولی بسیار آب‌گریز گردو بوده که موجب محدود شدن نفوذ روی و ظرفیت بالای تثبیت روی کاتیونی در مکان‌های تبادلی دیواره‌ی سلولی و کوتیکول می‌شود (ژانگ و بروان، ۱۹۹۹).

کارایی تغذیه برگی برای گل‌دهی و تشکیل دانه در محصولات زراعی

کاربرد برگی عناصر غذایی در غلات به‌طور فزاینده‌ای رو به گسترش است.

– درصد بالایی از محتوای عناصر غذایی دانه از عناصر برگی و نه از جذب ریشه، تأمین می‌شود (مارشنر، ۲۰۱۲). در بسیاری از گونه‌ها نیاز دانه‌های در حال رشد به نیتروژن بیشتر از ظرفیت جذب ریشه‌ها بوده و کمبود نیتروژن از راه شکستن پروتئین برگ و انتقال نیتروژن و دیگر عناصر تغذیه‌ای به دانه تأمین می‌شود. شکست پروتئین برگ تأثیر مثبتی بر فراهمی مس و روی برای تحرک دوباره به سمت بافت‌های زایشی دارد (هیل و همکاران، ۱۹۷۹ب؛ دهقان پور و همکاران، ۱۳۹۱؛ کوتمان و همکاران، ۲۰۱۱).

– تحقیقات نشان‌دهنده نقش مهم فسفر در محلول‌پاشی برگی است. کاربرد برگی فسفر در محصولات مختلفی مانند سویا (مالارینو و همکاران، ۲۰۰۱)، گندم (مک بیت و همکاران، ۲۰۱۱؛ نواک و همکاران، ۲۰۱۱)، شبدر (بوما، ۱۹۷۵)، ذرت (گیرما و همکاران، ۲۰۰۷؛ لینگ و سیلبربوش، ۲۰۰۲) و غلات (مک‌بیت و همکاران، ۲۰۱۱؛ نواک و همکاران، ۲۰۱۱) موثر بوده است.

– کاربرد برگی فسفر دارای بیشترین کارایی در هنگام گل‌دهی گندم بوده و به میزان ۲ کیلوگرم فسفر خالص در هر هکتار (ماسولی و همکاران، ۲۰۰۶) توصیه می‌شود.

– در ذرت بیشترین پاسخ به کاربرد برگی فسفر، با ۲ کیلوگرم فسفر خالص در هر هکتار، از هشتمین برگ تا مراحل رشد کاکل ذرت است (گیرما و همکاران، ۲۰۰۷).

– مناسب‌ترین زمان برای کاربرد برگی فسفر در اوایل توسعه‌ی غلاف در سویا (گری و اکین، ۱۹۸۴)؛ از کامل شدن پوشش گیاهی تا خوشه‌روی در غلات (ماسولی و همکاران، ۲۰۰۶؛ گیرما و همکاران، ۲۰۰۷)؛ و اوایل تشکیل کاکل ذرت (گیرما و همکاران، ۲۰۰۷) است.

– محلول‌پاشی روی و آهن پیش از گل‌دهی و در زمان تشکیل دانه در کلزا موجب افزایش معنی‌دار عملکرد روغن می‌شود (معاف پوریان و همکاران، ۱۳۹۳).

– ویتور و بوکاووک (۱۹۵۹) نشان دادند که رطوبت هوا موجب افزایش جذب دو برابری فسفر به برگ‌های لوبیا می‌شود.

– پاسخ ارقام سویا به تغذیه برگی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و گوگرد، به‌ویژه در دوره‌ی پر شدن دانه بسیار مطلوب است (بوت و همکاران، ۱۹۷۸).

– عملکرد ذرت و سویا در محلول‌پاشی هفتگی پلی فسفات‌ها و در مراحل ابتدایی و در گندم زمستانه در اواسط فصل رشد به‌طور معنی‌دار افزایش می‌یابد (موسالی و همکاران، ۲۰۰۶). کاربرد کودهای بیولوژیک حاوی آمینواسیدها به ویژه پرولین در زمان تشکیل کاکل ذرت موجب افزایش معنی‌دار عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت دانه‌ای رقم ماکسیما تحت شرایط تنش خشکی می‌شود (یارمحمودی و همکاران، ۱۳۸۸).

– تغذیه برگی فسفر در مراحل ابتدایی رشد گندم موجب افزایش تعداد جوانه‌های بارور شد (گرنت و همکاران، ۲۰۰۱) (جدول ۸).

– مرحله زادوکس به‌عنوان مرحله‌ی رشد بهینه برای کاربرد برگی فسفر به دلیل افزایش جذب فسفر و عملکرد دانه در گندم توصیه شده است (موسالی و همکاران (۲۰۰۶). کاربرد برگی فسفر پیش از خوشه روی موجب تجمع فسفر در گندم در بالاترین حد شد و توقف جذب فسفر پس از خوشه‌روی در گندم مشاهده شد (روز و همکاران، ۲۰۰۷).

– شواهد زیادی نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار کاربرد برگی روی درست پیش از پیر شدن برگ در محصولات دانه‌ای بر افزایش غلظت روی دانه است (کاکماک و همکاران، ۲۰۱۰؛ ابراهیم و علی، ۲۰۰۴؛ فنگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ هاسلت و همکاران، ۲۰۰۱؛ کیناسی و گولمزوگلو، ۲۰۰۷؛ ژنگ و همکاران، ۲۰۱۰).

– در طول مرحله‌ی توسعه‌ی دانه در گندم، از برگ‌های پرچم دارای مقدار کافی مس، بیش از ۷۰ درصد مس به سمت دانه منتقل می‌شود، اما در گیاهانی که دچار کمبود مس هستند، این مقدار تنها ۲۰ درصد است (هیل و همکاران، ۱۹۷۹ الف؛ هیل و همکاران، ۱۹۷۹ب).

جدول ۸- جدول زمان‌بندی تغذیه برگی گندم

خوشه روی	توسعه برگ پرچم	تشکیل اولین گره	توسعه ساقه	پنجه روی	جوانه‌زنی و رشد اولیه	پیش از کشت
کاربرد اوره، فسفر، روی، بور و کلسیم	محلول‌پاشی اوره، فسفر، روی و مس	محلول‌پاشی فسفر، منیزیم، اوره	محلول‌پاشی منیزیم، اوره، روی، منگنز	محلول‌پاشی، فسفر، منیزیم، اوره، روی، منگنز	محلول‌پاشی روی، منگنز و مس	کاربرد روی، منگنز، بذرمال یا کاربرد بذر غنی از روی

– محلول‌پاشی برگی نیتروژن در سویا روش موثر برای تجدید ذخیره‌ی نیتروژن در برگ‌ها و موجب عملکرد بالاتری نسبت به کوددهی خاکی می‌شود (گارسیا و هانوی، ۱۹۷۶).

– کاربرد برگی نیتروژن در ترکیب با فسفر، پتاسیم و گوگرد در طول مراحل رشد R_4 و R_7 در سویا بهترین نتایج را نشان داد.

– برخی عناصر غذایی، وقتی به‌صورت برگی به کار می‌روند، ممکن است دارای کنش متقابل مثبت با دیگر عناصر غذایی بوده و می‌توانند عملکرد محصول را ارتقا بخشند. برای مثال، وقتی گوگرد به‌تنهایی به‌عنوان یک کود برگی روی سویا به کار می‌رود، عملکرد دانه را افزایش نمی‌دهد، اما وقتی در ترکیب با نیتروژن، فسفر و پتاسیم استفاده می‌شود، پاسخ گیاه مثبت است (گارسیا و هنوی، ۱۹۷۶).

– محلول‌پاشی برگی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و گوگرد در طول دوره‌ی پر شدن دانه در لوبیا موجب افزایش عملکرد می‌شود (نیومان و جیسکین، ۱۹۷۹).

– رشد رویشی و کیفیت میوه طالبی و چند گونه خانواده کدوئیان با محلول‌پاشی روی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم افزایش می‌یابد (لستر و همکاران، ۲۰۱۰؛ لستر و همکاران، ۲۰۰۶).

– مناسب‌ترین زمان برای کاربرد برگی عناصر پرمصرف اوایل توسعه‌ی غلاف در سویا، از کامل شدن تاج گیاهی تا خوشه روی در غلات، اوایل تشکیل کاکل ذرت و اوایل گل-دهی در پنبه است.

– تفاوت عکس‌العمل محصولات زراعی به کوددهی برگی ناشی از تأثیر عوامل محیطی (اقلیم، شرایط خاکی، وضعیت عناصر غذایی، مرحله‌ی رشد، شرایط در طول کاربرد)، گونه و فرمولاسیون محلول است. درک شرایطی که منجر به پاسخ مثبت محصول و افزایش کارایی محلول‌پاشی شود، بسیار مهم است.

تغذیه برگی در زمان بیشترین نیاز به عناصر غذایی

نیاز به عناصر غذایی در دوره حداکثر رشد رویشی گیاهان و در درختان در طی مراحل تشکیل گل، میوه و دانه است. در طول این مراحل، بالغبر ۴۰ درصد از تجمع سالانه‌ی عناصر غذایی در طی یک دوره‌ی ۱۰ روزه اتفاق می‌افتد (جونز و همکاران، ۲۰۰۹).

– در بادام، نیاز به نیتروژن زیاد بوده و در طول ۶۰ روز اول رشد می‌تواند از ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هر هکتار تجاوز کند، درحالی‌که نیاز به پتاسیم در اواخر فصل به بیشترین حد رسیده و با دوره بیشترین نیاز به کربن و دوره تولید ریشه‌های جدید، همزمان می‌شود.

– در بسیاری از محصولات چندساله، کوددهی برگی، حتی در شرایط بهینه بودن ذخیره‌ی عناصر غذایی خاکی، باید در طول دوره‌ای که بیشترین نیاز به عناصر غذایی وجود دارد، انجام شود.

– آلوی فرانسوی نیاز زیادی به پتاسیم (بالغبر ۲۸۰ کیلوگرم پتاسیم در هر هکتار در هر سال)، در زمان تجمع قند در میوه دارد. محلول‌پاشی برگی نیترات پتاسیم KNO_3 چهار مرتبه در طول فصل رشد، موجب اصلاح کمبود پتاسیم و عملکرد بالاتر نسبت به کوددهی خاکی می‌شود (کریزوستو و همکاران، ۱۹۹۹).

– در زیتون و آلو جذب پتاسیم در برگ‌های جوان بیشتر از برگ‌های بالغ است (رسترپو دیاز و همکاران، ۲۰۰۹؛ سوتویک و همکاران، ۱۹۹۶).

– تحرک دوباره و سریع پتاسیم از برگ‌ها به سمت میوه با کاهش غلظت پتاسیم برگ موجب سوختگی برگ (علائم کمبود پتاسیم) و مرگ اندام هوایی در آلو (سوتویک و همکاران، ۱۹۹۶) و گردوی آمریکایی (اسپارکس، ۱۹۸۶) می‌شود. این تأثیر حتی در خاک‌هایی که دارای مقدار پتاسیم فراوان هستند نیز روی می‌دهد. نیاز برگ‌های مجاور میوه، بیشتر از ظرفیت بازپروری پتاسیم از خاک است.

– محلول‌پاشی برگی بازپروری سریع را برای پتاسیم و فسفر فراهم می‌کنند، به‌ویژه در خاک‌هایی که تثبیت پتاسیم و فسفر اتفاق می‌افتد (خاک‌های آهکی) و نرخ انتشار آن‌ها برای تأمین نیاز غذایی کافی نیست و از طرف دیگر رشد ریشه محدود است. در طول

تابستان جذب عناصر غذایی توسط ریشه به دلیل تنش آبی کاهش می‌یابد و کاربرد برگی عناصر غذایی توصیه می‌شود.

– در پسته، دوره اولیه‌ی تجمع نیتروژن همزمان با رشد سریع بهاره و دوره‌ی پر شدن دانه روی می‌دهد. تجمع پتاسیم از الگویی مشابه با تجمع نیتروژن تبعیت می‌کند. نیاز به عناصر غذایی از توزیع دوباره یا از جذب تأمین می‌شود. نیاز وافر به پتاسیم و نیتروژن در طول سال‌های میوه دهی (در تناوب باردهی)، به‌ویژه در اوایل رشد بهاره و پر شدن دانه، نشان می‌دهد که هرگونه کاهش در جذب عناصر غذایی توسط ریشه در این دوره‌ها می‌تواند منجر به کاهش رشد میوه و عملکرد شود (روسکرانس و همکاران، ۱۹۹۶؛ روسکرانس و همکاران، ۱۹۹۸). نیاز زیاد به عناصر غذایی در زمان میوه‌دهی سنگین در پسته سبب کمبود موضعی در برگ درست در کنار خوشه‌های پسته می‌شود، این مسئله حتی در خاک‌هایی که به‌خوبی کوددهی شده‌اند، رخ می‌دهد (شکل ۵). الگوی کمبود مشابهی نیز در برگ‌های بادام مشاهده می‌شود، که درست مجاور میوه قرار دارند (معاف‌پوریان و همکاران، ۱۳۸۶) (شکل ۶).

شکل ۵– کمبود شدید پتاسیم و نیتروژن در برگ‌هایی که درست کنار خوشه‌ی میوه پسته (Pistacia vera) قرار دارند. کمبود می‌تواند حتی در باغ‌هایی که کوددهی سنگین شده‌اند نیز روی دهد و کاربرد برگی KNO_3 می‌توانند به شکل مؤثری این علائم برگی را اصلاح کنند.

(نتایج منتشرنشده‌ی براون)

شکل ۶- کمبود چند عنصری در برگ‌هایی که درست در کنار میوه دوتایی بادام قرار دارند. به عدم کمبود در برگ‌های سبز شاخه‌ی مجاور فاقد میوه در همین درخت توجه کنید. تحت چنین شرایطی تأمین پتاسیم از طریق محلول‌پاشی برگی روش بسیار مؤثری در ارتقای کیفیت میوه است.

- طالبی (*Cucumis melo* L.) به‌خوبی به محلول‌پاشی برگی پتاسیم پاسخ می‌دهد (لستر و همکاران، ۲۰۱۰)، زیرا مقدار قند میوه دارای ارتباط مستقیم با انتقال آوند آبکشی ساکاروز توسط پتاسیم به سمت میوه بوده و در طی رشد سریع میوه‌ی طالبی، زمانی که کوددهی خاکی به دلیل ظرفیت پایین جذب ریشه برای تغذیه گیاه ناکافی است، از اهمیت زیادی برخوردار است.

- پنبه دارای نیاز بالا به پتاسیم بوده و نسبت به شرایط محدودکننده دسترسی به پتاسیم، مانند خشکی خاک در طول دوره‌های نیاز بحرانی، حساس است.

جدول ۹- تأثیر کاربرد نیتروژن برگی در مرحله‌ی پر شدن قوزه‌ی پنبه بر بارگیری قوزه، نیتروژن برگ و عملکرد پنبه (اوسترهویس و بونادادا، ۲۰۰۱)

عملکرد (کیلوگرم دانه پنبه در هر هکتار)	شرایط بارگیری قوزه	میزان نیتروژن برگ (درصد)	مصرف نیتروژن برگی (کیلوگرم در هر هکتار)	مصرف نیتروژن خاکی (کیلوگرم نیتروژن در هر هکتار)
۷۸۳	بارگیری قوزه کم	۱/۸	۰	۵۰
۹۷۰	بارگیری قوزه کم	۲/۵	۵	۵۰
۱۰۳۵	بارگیری قوزه زیاد	۱/۵	۰	۵۰
۱۲۵۸	بارگیری غوزه زیاد	۲/۲	۵	۵۰
۷۷۶	بارگیری غوزه کم	۲/۱	۰	۱۰۰
۷۸۲	بارگیری غوزه کم	۲/۸	۵	۱۰۰
۸۸۴	بارگیری غوزه زیاد	۲/۲	۰	۱۰۰
۱۱۷۰	بارگیری غوزه زیاد	۲/۳	۵	۱۰۰

- کاربرد نیتروژن برگی در اواخر فصل، عملیاتی استاندارد در بسیاری از مناطق تولیدکننده‌ی پنبه در جهان است (گریک و همکاران، ۱۹۹۸) و بسیاری از مطالعات، فایده‌ی کاربرد برگی نیتروژن حتی در شرایط میزان نیتروژن بالای خاک را گزارش نموده‌اند (جدول ۹) (بونادا و همکاران، ۱۹۹۹؛ اوسترهوویس و بونادا، ۲۰۰۱).

محلول‌پاشی پس از برداشت و اواخر فصل

- کاربرد برگی آخر فصلی (پس از برداشت) عناصر غذایی در بسیاری از درختان میوه خزان کننده می‌تواند وضعیت عناصر غذایی را در دوره‌ی گل‌دهی بهاره بهبود بخشد.

- کیفیت و طول عمر برگ در دوره‌ی پس از برداشت وابسته به گونه و رقم است. گیلاس، انگور، هلو و زردآلوی زودرس عملکرد کامل برگی پس از برداشت دارند، اما گونه-های دیررس مانند بادام، پسته، گردو، سیب و گلابی دارای عملکرد برگی بسیار کمی پس از برداشت هستند.

– مزیت کاربرد برگی عناصر غذایی پس از برداشت، برای عناصر غذایی متحرک در آوند آبکش مانند نیتروژن، پتاسیم و بور، در گونه‌هایی که به‌سادگی بور را انتقال می‌دهند، بیشترین است.

– در مورد عناصر غذایی که در آوند آبکش غیرمتحرک هستند (به‌ویژه کلسیم، آهن، منگنز و روی)، تغذیه برگی در طول دوره‌ی پس از برداشت اثربخش نیست (هوت و ویمپانی، ۲۰۰۶؛ نیلسون و همکاران، ۲۰۰۵؛ پریی، ۲۰۰۶؛ پریی، ۲۰۰۷؛ سانچز و همکاران، ۲۰۰۶).

– کاربرد اوره‌ی برگی برای تأمین نیتروژن درختان در زمان ورود به مرحله‌ی رکود مهم است (سانچز و همکاران، ۱۹۹۰؛ دونگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ دونگ و همکاران، ۲۰۰۵). محلول‌پاشی اوره‌ی پاییزه موجب افزایش نیتروژن کل جوانه‌های گل خفته و تشکیل میوه بهتر در درختان سیب در فصل بعد می‌شود (گواک و همکاران، ۲۰۰۴).

– کاربرد آخر فصل اوره به دلیل قابلیت تحمل بهتر برگ‌های پیر، مسمومیت را کاهش می‌دهد. در هلو، حد آستانه‌ی سمیت گیاهی غلظت اوره‌ی برگی بین ۰/۵ تا ۱ درصد بوده و به چندین بار محلول‌پاشی نیاز است؛ اما پس از برداشت، نگرانی در رابطه با سمیت گیاهی حتی با غلظت‌های بالاتر اوره (۵ تا ۱۰ درصد) به دلیل ریزش طبیعی برگ کاهش می‌یابد (جانسون و همکاران، ۲۰۰۱). کاربرد اوره در پاییز موجب افزایش رشد بهاره می‌شود (اسکاجل و همکاران، ۲۰۰۸).

اثر تغذیه برگی بر کیفیت محصول

– تغذیه برگی موجب ارتقای کیفیت محصول از لحاظ پروتئین دانه و مقدار روی، می‌شود (کاکماک، ۲۰۰۸؛ کاکماک و همکاران، ۲۰۱۰). در گندم (.Triticum sp) محلول-پاشی برگی نیتروژن موجب افزایش پروتئین دانه می‌شود. زمان بهینه برای محلول‌پاشی نیتروژن در گندم پس از گرده‌افشانی است (بلاندینو و رینری، ۲۰۰۹؛ بلی و وودارد، ۲۰۰۳؛ غلامی و همکاران، ۲۰۱۱). فایده‌ی کاربرد برگی آخر فصل تحت تأثیر نوع رقم و وضعیت نیتروژن گیاه است (وارگا و سونسنجاک، ۲۰۰۶).

– کلسیم در آوند آبکش به دلیل غلظت کم آن در سیتوپلاسم و آوند آبکش غیرمتحرک است (وایت و برادلی، ۲۰۰۳)، همچنین تأثیر منفی کلسیم بر شکل‌گیری کالوز غربال آوند آبکشی و بسته شدن آن‌ها، تحرک کلسیم را کاهش می‌دهد (مارشنر ۲۰۱۲). فسفات، آنیون اصلی در شیره‌ی آوند آبکش بوده با تشکیل فسفات کلسیم با حلالیت کم، جابجایی کاتیون کلسیم را محدود می‌سازد. بسیاری از اختلالات فیزیولوژیکی میوه‌ها به دلیل کمبود کلسیم است. محلول‌پاشی متعدد و کاربرد همزمان کلسیم بر روی برگ‌ها، ساقه‌ها و میوه‌ها ضروری است. محلول‌پاشی کلسیم در اوایل فصل رشد دارای کارایی بیشتری نسبت به محلول‌پاشی‌های اواخر فصل است (لوتزی و همکاران، ۲۰۰۸).

– کاربرد کلسیم و بور پیش از برداشت پرتقال‌کاراکارا (Citrus sinesis L. Osbeck) موجب گسترش شبکه‌ی پلیمر غشای میوه و کاهش آنزیم پلی گالاکتروناز، پکتین استراز و بی‌گالاکتوسیداز می‌شود. چنین تیماری موجب افزایش مقدار کل فیبر غذایی، فیبر غیرمحلول، پروتوکتین و سلولز و بهبود کیفیت میوه می‌شود (دونگ و همکاران، ۲۰۰۹).

– محلول‌پاشی کلسیم موجب کاهش اختلالات پوست میوه‌ی نارنگی (فورچون) شد (زاراگوزا و همکاران، ۱۹۹۶). محلول‌پاشی پیش از برداشت کلسیم و پتاسیم موجب افزایش غلظت این عناصر در پوست میوه‌ی ماندرین (فورچون) در زمان برداشت شد. محلول‌پاشی برگی درختان با کودهای حاوی نیتروژن، کلسیم و پتاسیم، چهار هفته پیش از برداشت، به‌طور معنی‌داری پیدایش اختلالات پوستی را در انبار و در دمای ۴ تا ۸ درجه‌ی سانتی‌گراد را کاهش داد و محلول‌پاشی پیش از برداشت با Ca(NO3) و KNO3 موجب افزایش مقدار مواد معدنی در پوست میوه در زمان برداشت شد.

– جذب کلسیم در گیاه سبب بستگی به رقم دارد. رقم سیب Cox`Oragne Pippin یون کلسیم را پنج برابر بیش از رقم James Grieve جذب می‌کند (ون گور،۱۹۷۳). سیب قرمز «Idared» یون کلسیم کمتری نسبت به سیب‌های زرد «Jonagold» و «Gloster» جذب می‌کند (ووجسیک، ۲۰۰۴).

– میزان نفوذ کلرید کلسیم به داخل سطح برگ سیب و گلابی در نور بیشتر از تاریکی است (شلگل و شونهر، ۲۰۰۲).

تأثیر وضعیت غذایی گیاه بر کارایی تغذیه برگی

وضعیت غذایی گیاه می‌تواند تأثیر معنی‌دار بر پاسخ گیاه به کاربرد برگی کودها داشته باشد. وضعیت غذایی گیاه تحت تأثیر گونه‌ی گیاه، عنصر غذایی و مدت‌زمان کمبود است.

– کمبود مداوم عناصر غذایی، جذب برگی را از طریق تغییر ترکیب فیزیکی و شیمیایی برگ از جمله تغییر اندازه‌ی تاج پوشش گیاهی، یا تغییر فیزیولوژی در محصول کاهش می‌دهد.

– کمبودهای کوتاه‌مدت موجب افزایش جذب از طریق افزایش فعالیت مکانیسم عکس‌العمل به کمبود (فعال‌سازی جذب) و یا فراوانی نسبی مکان‌های پیوندی غیراشباع برای عناصر غذایی می‌شوند.

– انتقال عناصر غذایی از مکان کاربرد تحت شرایط کمبود بهبود می‌یابد. این مسئله به‌واسطه افزایش شیب پتانسیل شیمیایی، که موجب افزایش حرکت از مکان جذب می‌شود، اتفاق می‌افتد.

– کافی بودن عناصر غذایی موجب افزایش جذب برگی از طریق افزایش رشد اندام هوایی جدید و افزایش اندازه تاج پوشش گیاهی و در نتیجه افزایش جذب عناصر غذایی می‌شود.

– اگر مقدار هر عنصر غذایی معدنی در برگ به‌شدت کم باشد، آنگاه توانایی جذب این عنصر، به دلیل تغییرات برگشت‌ناپذیر در بافت برگ، محدود می‌شود (مارشنر، ۲۰۱۲). تغییر در سطح غشای کوتیکولی ناشی از کمبود و کلروز آهن با ایجاد تغییر مورفولوژیکی و مکانیکی اپیدرم، دیواره‌ی سلولی و مجموعه‌ی آوندی موجب مشکلات هیدرولیکی و کاهش جذب و انتقال آهن می‌شود (ایچرت و همکاران، ۲۰۱۰؛ فرناندز و همکاران، ۲۰۰۸)، این مسئله در نتیجه‌ی اختلالاتی در شکل‌گیری کوتیکول، به دلیل تولید محدود مواد لیپیدی، روی می‌دهد. این مورد در غشاهای تیلاکوئیدی کلروپلاست هلو و گلابی در شرایط کمبود آهن نیز روی می‌دهد (آبادیا و همکاران، ۲۰۱۱؛ منجی و همکاران، ۱۹۹۳).

– آهن در گیاهان عنصری با تحرک میانگین بوده و در مقادیر کم از برگ‌های پیر به برگ‌های جوان جابجا می‌شود (آبادیا و همکاران، ۲۰۱۱). غلظت معمول آهن در آوند آبکش برابر با ۹/۴ میکروگرم بر میلی‌لیتر است که بسیار کمتر از نیاز گیاه است. پی اچ

آوند آبکش حدود ۸-۷/۸ است که موجب تثبیت Fe^{3+} می‌شود. گزارش‌های متعددی جابجایی بهتر کلات‌های آهن را نشان می‌دهند (فرناندز و ابرت ۲۰۰۵؛ فرناندز و همکاران، ۲۰۰۹).

– در برگ مرکبات، کمبود نیتروژن موجب افزایش غلظت موم اپی کوتیکولی می‌شود (بونادادا و همکاران، ۲۰۰۶؛ بونادادا و همکاران ۲۰۰۱) و پاسخ مشابهی نیز در سوزنی برگ (Pinus palustrus) مشاهده شد (پرایور و همکاران، ۱۹۹۷). افزایش موم اپی‌کوتیکولی موجب کاهش جذب برگی از طریق کاهش فرایند انتقال ترانس‌کوتیکولی و افزایش نسبت آلکان‌های زنجیره بلند می‌شود (چیو و همکاران، ۱۹۹۲). کمبود نیتروژن می‌تواند از طریق کاهش توسعه‌ی برگ و رشد اندام هوایی، که منتج به برگ‌ها و ساقه‌های کوچک‌تر با کوتیکول‌های ضخیم‌تر و موم کوتیکولی بیشتر روی سطح برگ می‌شود، موجب کاهش جذب شود.

– در زیتون، درختان دارای کمبود نیتروژن در مقایسه با درختان دارای مقدار نیتروژن بهینه، نیتروژن بیشتری را توسط برگ‌هایشان جذب می‌کنند (فرناندز و همکاران، ۲۰۱۱).

– در مرکبات، جذب نیتروژن از اوره‌ی برگی با افزایش مقدار کل نیتروژن اندام هوایی درخت کاهش می‌یابد (لیکومس و سیورتسن، ۱۹۹۵).

– جذب پتاسیم در برگ درخت زیتون در گیاهان دارای کمبود پتاسیم و تنش آبی،کاهش می‌یابد (رسترپو- دیاز و همکاران، ۲۰۰۸). کاهش جذب پتاسیم به دلیل عدم توسعه‌ی تاج پوششی گیاه (رسترپو- دیاز و همکاران، ۲۰۰۸؛ رسترپو- دیاز و همکاران، ۲۰۰۹)، یا کاهش باز شدن روزنه (فیشر و هسیائو، ۱۹۶۸) است.

– کاربرد کم خاکی کلرید پتاسیم و همزمان تغذیه برگی با آن، موجب افزایش جذب پتاسیم برگی می‌شود (رسترپو- دیاز و همکاران، ۲۰۰۹).

– برگ‌های دارای کمبود بور، دارای نرخ جذب و انتقال بور کمتری در مقایسه با برگ-های حاوی بور کافی می‌باشند (ویل و همکاران، ۲۰۱۱). گیاهان فاقد بور در محیط ریشه، تنها ۳۰ درصد جذب بور برگی، در مقایسه با گیاهان دارای غلظت کافی بور در محیط ریشه، نشان می‌دهند. در گیاهان فاقد ذخیره بور روزنه‌ها چروک شده و بسته می‌شوند و این امر موجب کاهش جذب برگی مواد محلول از مسیر روزنه‌ای می‌شود (ایچرت و

بورخاردت، ۲۰۰۱؛ ایچرت و گلدباخ، ۲۰۰۸). کمبود بور باعث تغییر در ساختار کوتیکولی می‌شود. در شرایط کمبود بور، در مراحل رشد زایشی گیاه، تحرک بیشتر بور برگی و محیط خاکی دیده می‌شود (هوانگ و همکاران، ۲۰۰۸). این اثر در نتیجه‌ی افزایش فعالیت مسیرهای انتقال بور (میوا و همکاران، ۲۰۱۰)؛ یا افزایش انتقال آوند آبکشی بور از برگ به بافت‌های زایشی (ویل و همکاران، ۲۰۱۱)؛ یا تحریک تولید پلی‌اُل، که انتقال بور را تسهیل می‌کند (لیاکوپولوس و همکاران، ۲۰۰۹)، است.

– عواملی همچون شرایط مطلوب رشد، گسترش برگی، توسعه‌ی تاج پوشش گیاهی، تولیدمثل و رشد و نمو میوه سبب افزایش جذب و تحرک دوباره برگی عناصر غذایی می‌شوند. انتقال نیتروژن به خارج از برگ در درختان دارای نیتروژن زیاد و در حال رشد، افزایش می‌یابد. در درختان سیب، برگ‌های حاوی نیتروژن کافی، نیتروژن بیشتری را از محلول‌پاشی دریافت می‌کنند و به محلول‌پاشی دیگر عناصر از جمله منیزیم عکس‌العمل بهتری نشان می‌دهند.

– محلول‌پاشی نیتروژن در گندم منجر به افزایش نیتروژن دانه و افزایش معنی‌دار روی برگی انتقال‌یافته به سمت دانه و در نتیجه افزایش غلظت روی در دانه می‌شود (کاکماک و همکاران، ۲۰۱۰).

– افزایش جذب برگی عناصر غذایی، در درختانی که از نظر دیگر عناصر غذایی غنی هستند، به دلیل وضعیت فیزیولوژی بهتر درخت و همچنین به دلیل افزایش سطح جذب (تاج پوششی بزرگ‌تر گیاهی) و افزایش قدرت جذبی بافت‌ها و اندام درحال توسعه است.

تأثیر منبع و فرمولاسیون عناصر غذایی در کارایی محلول‌پاشی برگی

منبع و فرمولاسیون محلول عناصر غذایی بر جذب عناصر غذایی توسط برگ تأثیر گذاشته و تفاوت‌هایی در پاسخ گیاه به منبع عناصر غذایی در گونه‌های گیاهی مختلف وجود دارد. تفاوت در پاسخ می‌تواند به شکل شیمیایی عنصر غذایی، خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن (اندازه‌ی مولکولی، حلالیت، فراریت، بار و نقطه نم‌پذیری)، یون‌های همراه و وجود مواد افزودنی و کمکی مختلف نسبت داده شود.

– در بیشتر موارد اوره به‌عنوان ترکیب اصلی در محلول‌پاشی‌های برگی نیتروژن مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا به‌سرعت و به‌گونه‌ای مؤثر توسط گیاهان و درختان جذب و ترکیب می‌شود (بی و اسکاجل، ۲۰۰۸).

– غشای کوتیکولی ۱۰ تا ۲۰ مرتبه نسبت به اوره در مقایسه با یون‌های معدنی، نفوذپذیرتر بوده، که در نتیجه‌ی طبیعت بدون بار و کوچکی مولکول اوره است. ترکیب اوره و نیترات آمونیم نیز به‌عنوان منبع نیتروژن برگی برای گیاه جو بسیار مؤثر است، اما در سویا تفاوت در میزان جذب نیتروژن برگی در اوره، آمونیوم یا نیترات وجود ندارد.

– میزان جذب یون آمونیوم در برگ سریع‌تر از یون نیترات است، زیرا نفوذ کاتیون‌ها با شیب مکان‌های بار منفی در منافذ کوتیکولی، افزایش می‌یابد. این موضوع در انگورمشاهده شده است (پورو و همکاران، ۲۰۰۶).

– کودهای مورد استفاده برای تغذیه‌ی برگی می‌بایستی دارای نقطه‌ی نم پذیری کمی باشند (شونهر و لوبر، ۲۰۰۱). ازاین‌رو کلرید کلسیم (۳۳٪)، کربنات پتاسیم (۴۴٪) و نیترات کلسیم (۵۶٪) مؤثرتر از فسفات پتاسیم، نیترات پتاسیم، استات کلسیم، لاکتات کلسیم و پروپیونات کلسیم هستند، زیرا مواد اخیر تنها در رطوبت نزدیک به ۱۰۰ درصد محلول هستند (شونهر و لوبر، ۲۰۰۱). اما افزایش خطر سمیت برگی نمک‌هایی که دارای نقطه‌ی نم پذیری پایینی هستند، نباید نادیده گرفته شود.

– منیزیم برگی زمانی که به‌صورت نمک‌های کلرید و نیترات باشد، به‌سرعت جذب می‌شود (نیلسن و هویت، ۱۹۸۴). وقتی منیزیم به‌صورت کلرید به کار می‌رود، ۹۰ درصد از منیزیم به‌کاررفته توسط برگ‌های سیب، حتی در رطوبت نسبی۳۰ درصد، جذب می-شود، اما سولفات منیزیم نیازمند رطوبت نسبی ۸۰ درصد برای افزایش جذب است (نیلسن و هویت، ۱۹۸۴).

– جابجایی اندک روی در کاربرد آن به شکل سولفات روی یا کلات EDTA وجود دارد (چاتزیستاتیس و همکاران، ۲۰۰۹؛ پریی، ۲۰۰۷)؛ تنها ۲۵ درصد روی به‌صورت Zn-EDTA و یا سولفات روی جذب و ۸ تا ۱۰ درصد آن در بافت‌های تیمار شده جابجا می‌شوند (فراندون و کامل، ۱۹۸۸).

– کلات‌های آمینواسید روی (متالوسات‌ها) در مقایسه با نمک‌های فلز یا کلات سنتزی EDTA، به شکل موثرتری جذب و جابجا می‌شوند (هسو، ۱۹۸۶).

– کمبود روی در برنج با کاربرد سولفات‌روی تصحیح شده، اما شکل کلات، مانند Zn-EDTA موثرتر است (کوریا و همکاران، ۲۰۰۸).

– سارتوری و همکاران (۲۰۰۸) گزارش نمودند که در مرکبات کلریدروی کاراتر از سولفات‌روی است، گرچه کلریدروی ممکن است موجب سمیت در برگ‌ها شود. وقتی سولفات‌روی به‌عنوان منبع روی برای درختان پرتقال به کار می‌رود، جذب روی توسط برگ‌ها تنها ۶ درصد از کل مقدار مصرف شده پس از ۱۲۰ روز است. اما وقتی منبع آن کلریدروی استفاده می‌شود، جذب روی به ۹۲ درصد از کل مقدار به‌کاررفته می‌رسد.

– در مرکبات و گردوی آمریکایی، نیترات روی به‌تنهایی و در ترکیب با اوره و نیترات آمونیوم، بیشتر از سولفات روی موجب افزایش روی در برگ شد (اسمیت و استوری، ۱۹۷۹).

– بیشتر شکل‌های بور موجود برای استفاده در تغذیه برگی بسیار محلول بوده و عموماً مؤثر هستند. در سیب، کاربرد انواع کودهای بور از جمله مور- بور ۱۷، سولوبور، سولوبور DF، اسپریبور، بوروسول، لیکویبور، N- بور و سولوبور به‌اضافه‌ی کورون، تفاوت اندکی از نظر میزان جذب نشان دادند (پریی و همکاران، ۲۰۰۳). شکل شیمیایی بور، وضعیت فیزیکی و وجود مواد افزودنی هیچ تأثیر بر جذب بور ندارد. اندازه کوچک و طبیعت بدون بار اسید بوریک با pH کمتر از ۲/۹ موجب می‌شود تا اسید بوریک، همانند اوره و گلیسرول، به‌سادگی از غشای کوتیکولی عبور کند.

– شناسایی منابع برتر و کاراتر کودهای آهن چالش مهمی برای محققین بوده است (آبادیا و همکاران، ۲۰۱۱؛ فرناندز و همکاران، ۲۰۰۹). سولفات آهن (II) از لحاظ کارایی با Fe(III)-EDTA و Fe(III)- citrate در یک سطح است و سولفات آهن (II) دارای کارایی مساوی با Fe(III)-DTPA (درکیوی) بود (تاگلیاوینی و همکاران، ۲۰۰۰)، سولفات آهن (II) به‌تنهایی(۹ میلی مولار آهن)، یا در ترکیب با اسید آسکوربیک، سیتریک و یا اسید سولفوریک، قادر به القای سبزینگی دوباره برگ در گلابی دچار زردی است (گارسیا-لاوینا و همکاران، ۲۰۰۲). ویژگی‌های شیمیایی Fe(II) در محلول به شرایط اکسیداسیون و pH

وابسته است و بهتر است که محلول‌پاشی برگی آهن به‌صورت کلات انجام شود. غلظت نقش مهمی در جذب برگی آهن ایفا کرده و افزایش نسبی جذب، در غلظت‌های کمتر محلول، دیده می‌شود (فرناندز و ابرت، ۲۰۰۵).

– کلات‌های آهن سه ظرفیتی در برابر نور ماورای بنفش ناپایدار است (آلبانو و میلر، ۲۰۰۱ الف؛ آلبانو و میلر، ۲۰۰۱ ب) و نفوذ برگی کلات آهن بیشتر در طول شب روی داده و توصیه می‌شود که کاربرد برگی آن در اواخر بعدازظهر انجام شود.

– منگنز در بیشتر گونه‌ها عموماً دارای تحرک کمی است اما تحت تأثیر فراهمی منگنز در محیط رشد است (براون و باسیل، ۲۰۱۱). منگنز دارای تحرک میانگین و کمتر از فسفر بوده و تحرک بیشتری نسبت به کلسیم دارد.

– سولفات منگنز $MnSO_4.H_2O$ دارای کارایی بیشتری نسبت به کلات Mn-EDTA در غلظت مشابه است (تدین و رستگار، ۱۳۸۳).

– مولیبدن دارای تحرک آوند آبکشی بالایی در سویا، برنج و لوبیا است (براون و باسیل، ۲۰۱۱)، اما در بسیاری از گونه‌های دیگر، دارای تحرک کمی است (ماسی و بوسلی، ۲۰۱۱). مولیبدن دارای تحرک میانگین بوده و در گیاهان غنی از مولبیدن، تحرک دوباره از برگ‌ها در مدت گل‌دهی و پر شدن غلاف وجود دارد.

سمیت

آسیب برگی می‌تواند بر اثر سمیت موضعی نمک، وجود ترکیبات سمی و آلاینده‌ها، pH محلول، یا سمیت مستقیم عنصری اتفاق افتد. سمیت بستگی به غلظت مواد و حرکت مواد به داخل بافت برگ دارد. علائم سمیت شامل: ۱) لکه‌های سوخته و مرده (نکروز) جدا از هم، که در زمان خشک شدن قطرات و غلیظ شدن مواد رخ می‌دهد و ۲) سوختگی حاشیه و نوک برگ به دلیل جریان ثقلی مواد محلول‌پاشی شده به این نواحی، و یا در نتیجه‌ی توزیع دوباره داخلی مواد شیمیایی به‌کاررفته از طریق جریان تبخیر - تعرق به سمت حاشیه و نوک برگ ایجاد شوند (شکل ۷).

شکل ۷- نشانه‌های سمیت موضعی نمک ناشی از محلول‌پاشی بر روی برگ درخت سیب

- آسیب برگی بیشتر در ترکیبات دارای ضریب نمکی بالا دیده می‌شود. ایجاد سریع شیب غلظت ماده‌ی محلول در طول غشای سلولی باعث ایجاد اختلاف پتانسیل اسمزی می‌شود که منجر به انهدام سلول بر اثر حرکت آب به خارج از سلول گیاه می‌شود. سوختگی نمک بستگی به حلالیت، غلظت کود و شرایط محیطی (دما، رطوبت، سرعت باد) دارد. چالش کلیدی تعادل میان حلالیت بالا و خطر سوختگی نمک است. محلول-پاشی با نمک عناصر غذایی دارای نقطه‌ی نم‌پذیری پایین می‌تواند سبب سوختگی برگ شود این سمیت به دلیل آسیب اسمزی نمک‌های محلول و یا سمیت مستقیم عنصر غذایی در غلظت‌های بالا و یا یون‌های همراه وارد شونده به فضای سلولی است.

- محلول‌های غیر بافری منابع پتاسیم (کلرور پتاسیم KCl، نیترات پتاسیم KNO_3، مونوپتاسیم فسفات MKP، سولفات پتاسیم K_2SO_4، تیوسولفات پتاسیم KTS و کمپلکس پتاسیم - آمینواسید گلیسین) دارای pH قلیایی بوده و موجب سوختگی برگ می‌شوند، این موضوع زمانی بارزتر است که این محلول در شرایط آب و هوایی گرم و خشک استفاده شود. در pH محلول ۵/۶ تا ۷/۷، مشکل مسمومیت گیاهی در مورد هیچ‌یک از منابع پتاسیم یا غلظت‌های استفاده شده، مشاهده نمی‌شود (جیفون و لستر، ۲۰۰۹).

- میزان آسیب کلریدسدیم در مناطق شور وابسته به نسبت Ca:Na است. کلرید-کلسیم به‌تنهایی سمی‌تر از کلریدسدیم بوده، اما در غلظت‌های کم (۱-۳ میلی‌اکی والان

بر لیتر)، آسیب برگی ناشی از کلرید سدیم را کاهش می‌دهد. اثر مفید غلظت کم یون کلسیم به‌گونه‌ای است که، در مقادیر بالای کلرید سدیم سمیت را کاهش می‌دهد. سمیت کلریدسدیم نشان‌دهنده کمبود کلسیم در بافت است که برای حفظ یکپارچگی غشاء سلولی دارای اهمیت است.

– عبور سریع یون‌های عناصر غذایی از کودهای برگی به سمت فضای متابولیکی گیاه، می‌تواند منجر به اختلال در متابولیسم طبیعی شود. پتانسیل ایجاد مسمومیت به‌سرعت جذب و ترکیب کود (مانند اوره) در برگ بستگی دارد. نرخ نفوذ بالا، پیش‌نیاز مهمی برای کارایی تغذیه‌ی برگی است و اوره، به دلیل خصوصیات ویژه‌اش مانند طبیعت غیریونی، معمولاً به‌سرعت جذب می‌شود. اوره در مقایسه با دیگر کودهای نیتروژن سوختگی برگی کمتری ایجاد می‌کند. اوره به دلیل آن‌که دارای ضریب نمکی پایین‌تری بوده، با سرعت بیشتری وارد برگ شده، و در آنجا در معرض رقت و متابولیسم قرار می‌گیرد (گارسیا و هانوی، ۱۹۷۶).

– سوختگی برگ سویا با اوره در نتیجه تجمع مقادیر بالای سمی اوره در برگ سویا و نه تأثیر نمکی آن است. سمیت در نتیجه تشکیل مقادیر سمی آمونیاک به‌واسطه هیدرولیز اوره توسط آنزیم اوره آز در برگ است (بریمنر، ۱۹۹۵). در میان عوامل تأثیرگذار بر نفوذ برگی اوره، غلظت آن در محلول نقش اصلی را ایفا می‌کند. جذب برگی نیتروژن در ۲۴ ساعت نخستین، بیشترین حد است. چرخه‌های تکراری خشک و خیس شدن، موجب افزایش اندازه‌ی منافذ کوتیکولی و در نتیجه افزایش نفوذ کوتیکولی مواد محلول در آب می‌شود.

– وقتی اوره‌ی به‌کار رفته در سطح برگ توسط برگ‌ها جذب می‌شود، توسط آنزیم اوره آز به آمونیاک تبدیل می‌شود، و سپس توسط آنزیم گلوتامین‌سینتتاز به گلوتامات تبدیل می‌شود (ویت، ۲۰۱۱). کارایی اوره به‌عنوان یک کود برگی و سمیت آن می‌تواند با افزودن نیکل، بهبود یابد، نیکل یک جزء ضروری آنزیم اوره آز است که برای متابولیسم اوره موردنیاز است (غیبی و همکاران، ۲۰۰۹؛ نیکولاد و بلوم، ۱۹۹۸).

– اوره استفاده شده در محلول‌پاشی برگی به‌سرعت و به‌صورت مؤثر توسط برگ‌های بیشتر میوه‌ها جذب می‌شود. مطالعات انجام شده، جذب و کارایی جابجایی حدود ۴۸ تا

۶۵ درصد اوره برگی به سمت دیگر اندام‌های درخت شامل ریشه‌ها را گزارش کردند (تاگلیاوینی و همکاران، ۱۹۹۸).

– کاربرد برگی اوره با بیورت کم (کمتر از ۰/۵ درصد)، به دلیل فراهم نمودن ذخیره تکمیلی نیتروژن بدون ایجاد مسمومیت، در مقیاس گسترده برای پرورش مرکبات رایج است (البریجو، ۲۰۰۲). کاربرد برگی اوره در مرکبات روشی کارا و مقرون‌به‌صرفه برای تأمین نیتروژن است، که به‌شدت بر کیفیت میوه مؤثر بوده و موجب افزایش اندازه میوه، ضخامت پوست، مقدار آب‌میوه و عملکرد آن می‌شود (ال اوتمانی و همکاران، ۲۰۰۲).

– اثرات مستقیم یونی عامل مهمی در تعیین سمیت کودهای برگی حاوی روی، مس، آهن و منگنز است اما این کودها عموماً در غلظت‌های بالا به‌کاربرده نمی‌شوند.

– کاربرد مقادیر بالای مس بر روی برگ‌ها به‌طورجدی موجب به هم خوردن رشد طبیعی گیاه می‌شود، که خود منجر به کاهش عملکرد کل، تعداد میوه، وزن خشک ریشه، و ارتفاع گیاه می‌شود (سونمز و همکاران، ۲۰۰۶). مس عنصر واسطه در واکنش‌های اکسید و احیا است و هنگامی‌که در مقادیر زیاد به‌کار برده شود، باعث تولید رادیکال‌های اکسیدکننده شده که تأثیر سمی اولیه‌ی آن در سلول‌های گیاهی است، علاوه بر این، مس و دیگر فلزات ضروری واسطه می‌توانند باعث القای اختلالات سلولی در غلظت‌های مسمومیت‌زا شوند (براون و باسیل، ۲۰۱۱).

– از آنجایی‌که سولفات مس دارای ضریب نمکی بالا است (تیسدال و نلسون، ۱۹۷۵) دارای تمایل بسیار به ایجاد سوختگی اسمزی است. مس غالباً به‌عنوان قارچ‌کش در غلظت‌هایی به کار می‌رود که بیشتر از مقدار موردنیاز برای تأمین نیاز غذایی گیاه بوده و تحت این شرایط باعث ایجاد سمیت می‌شود (مجید و بالارد، ۱۹۹۰).

– سولفات روی غالباً در درختان خزان‌کننده در مقادیر بالا مانند ۲۰ کیلوگرم در ۱۰۰ لیتر در هکتار (در اوایل پاییز) به کار می‌رود، تا برگ‌های درختان را ریخته و بار بیماری-های زمستانی را کاهش دهد. در این روش، سمیت سولفات روی مفید بوده اما اثرات زیست‌محیطی فلز سنگین روی، باید مدنظر قرار گیرد.

– در سطوح بالای بور خاک، تغییر در افزایش بور برگ یا گیاه نسبتاً کم است، اما اثرات این تغییر جزئی بر رشد گیاه بسیار منفی است. نشانه‌های سمیت و کاهش عملکرد

در کاربرد بور بیش‌ازحد دیده می‌شود (شکل ۸). سمیت نسبی محلول‌پاشی بور، بیشتر از کاربرد بور از طریق ریشه‌ها است. این امر به دلیل درصد بالاتر بور محلول و بین‌سلولی در برگ‌های محلول‌پاشی شده است. بور محلول نقش مهمی در وقوع سمیت ایفا می‌کند (ویمر و همکاران، ۲۰۰۳). غلظت بور در گیاه برای قضاوت یا پیش‌بینی آسیب سمیت آن، قابل اعتماد نیست.

شکل ۸- نشانه‌های سمیت محلول‌پاشی بور در انگور

- توسعه‌ی مکانیسم‌های جلوگیری از سمیت، در عین حفظ کارایی تغذیه برگی، مسئله‌ی بسیار مهمی است. روش‌های مختلفی برای کاهش سمیت کودهای برگی استفاده می‌شود که شامل رقیق نمودن و یا مواد افزودنی همراه در فرمول کودی برای بهینه‌سازی pH یا کاهش ضریب نمکی یا سطح توزیع و میزان خشک شدن مواد محلول‌پاشی بر روی سطح برگ است.

- استفاده از نمک‌های معدنی در مدیریت بیماری‌ها می‌تواند موجب کاهش کاربرد قارچ کش‌ها شود (دلیپولوس و همکاران، ۲۰۱۰). اثر حفاظتی محلول‌های عناصر غذایی در ترکیبات حاوی سیلیکون، به‌ویژه در رابطه با کنترل بیماری‌های قارچی دیده شده است (دورداس، ۲۰۰۹). افزایش ذخیره‌ی عناصر غذایی می‌تواند موجب ارتقای مکانیسم‌های تحمل و مقاومت گیاه میزبان به آفات و بیماری‌ها شود. روشن است که تعادل عناصر غذایی جزء ضروری هر برنامه‌ی حفاظت از محصول است (داتنوف و همکاران، ۲۰۰۷).

– اثر باقی‌مانده محلول‌پاشی برگی و آسیب حاصل از آن بر محصولات باغی کمتر گزارش شده است. استفاده برگی فسفر در درختان سیب سبب ایجاد باقی‌مانده اسید فسفریک در سیب در زمان برداشت می‌شود (مالوسا و توسی، ۲۰۰۵). کریسوستو و همکاران (۱۹۹۹) توصیه نمودند که از کاربرد محلول‌پاشی برگی عناصر سنگین به‌ویژه آهن، و مس ۲۲ روز پیش از برداشت هلو و شلیل اجتناب شود، زیرا این عناصر باعث ایجاد تیرگی در پوست میوه می‌شوند.

– جانسون و همکاران (۲۰۰۱) اظهار داشتند که تأمین نیتروژن درختان هلو با کاربرد ترکیبی کودهای نیتروژن برگی و خاکی منجر به عکس‌العمل بهینه‌ی گیاه و محدود شدن خطر آلودگی محیطی می‌شود. کارایی کاربرد برگی اوره در پاییز به‌عنوان یک استراتژی برای افزایش ذخیره‌ی نیتروژن درخت و محدود کردن مشکلات آبشویی NO_3-N ناشی از مصرف خاکی کودهای نیتروژن بسیار مهم است. رابطه‌ی مشابهی بین کارایی کوددهی برگی و خاکی پتاسیم در درختان زیتون در مناطق خشک و نیمه‌خشک نشان داده شد تا از مشکلات مرتبط با جذب ریشه‌ای کم پتاسیم در شرایط رطوبت محدود خاک اجتناب شود. به‌طور مشابه، تغذیه‌ی برگی فسفر در غلات در نواحی خشک به‌ویژه در خاک‌های آهکی، می‌تواند زمانی انجام پذیرد که لایه‌های سطحی خاک خشک شده و در نتیجه کارایی مصرف خاکی فسفر کاهش می‌یابد (نواک و همکاران، ۲۰۱۱).

فناوری کاربرد محلول‌پاشی

– محلول‌پاشی زمانی تأثیرگذار است که بیشتر قطرات مایع به گیاه برسند. رانش محلول مشکلی رایج است که در زمان محلول‌پاشی برگی روی می‌دهد. اندازه‌ی نازل و سرعت آن بر ساختار نشست محلول و همچنین رانش قطرات تأثیر می‌گذارد (نایتنس و همکاران، ۲۰۰۹). کارایی محلول‌پاشی غالباً وابسته به‌اندازه‌ی قطره بوده و پوشش بهتر توسط قطرهای کوچک‌تر حاصل می‌شود. در فن‌آوری محلول‌پاشی الکتروستاتیک برای کاربردهای برگی اندازه‌ی قطره کاهش بسیار یافته و پوشش بهتری بر روی گیاه ایجاد می‌شود. اما این روش موجب افزایش تبخیر قطرات ریز از روی سطح گیاه به‌ویژه در اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌شود. مواد افزودنی موجب تغییر اندازه‌ی قطره، سرعت و ساختار آن و تغییر کارایی جذب عناصر غذایی می‌شود (باتلر الیس و همکاران، ۱۹۹۷).

در پایان این نکته قابل ذکر است که ارتقای کارایی تغذیه برگی می‌بایستی با شناخت مراحل موثر در طی چرخه‌ی رشد گیاه و بهینه‌سازی زمان‌بندی و کارایی بیولوژیکی تغذیه برگی انجام پذیرد. با در دست داشتن چنین اطلاعاتی، تحلیل و تصمیمات آگاهانه اتخاذ می‌شود.

فهرست منابع

[۱] ابراهیمی، ص.، تدین، م.س. و غ.ر. معاف‌پوریان. ۱۳۹۱. نقش کود دامی و نیتروکسین به همراه کاربرد هورمون جیبرلین بر محصول ذرت ۷۰۴. اولین همایش ملی کشاورزی در شرایط محیطی دشوار، ارسنجان، ایران.

[۲] تدین، م. س.، معاف‌پوریان، غ.ر. و ن. مفتون‌آزاد. ۱۳۹۲. اثر ترکیبات فسنوترون، فولویک اسید و براسینولاید بر عملکرد کمی و کیفی انگور دیم رقم خلیلی. مجله علمی و پژوهشی علوم و فنون باغبانی ایران. ایران- دانشگاه تهران۱۴-۱۷.

[۳] تدین، م.س. ۱۳۸۶. اثر زمان و مقدار تغذیه ازت بر تناوب باردهی نارنگی کینو (Citrus reticulate). دهمین کنگره علوم خاک و آب ایران، تهران، ایران.

[۴] تدین، م.س. و ح. رستگار. ۱۳۸۳. تأثیر محلول‌پاشی سولفات روی، منگنز و منیزیم بر عملکرد کمی و کیفی میوه پرتقال محلی جهرم (Citrus sinensis Swing). مجله علمی و پژوهشی علوم و فنون باغبانی ایران، دانشگاه شیراز، جلد ۵ شماره ۴.

[۵] تدین، م.س.، خوگر، ز.، زارع، ح.، نصرالهی، خ. و ل. جوکار. ۱۳۸۶. تأثیر محلول‌پاشی ازت، بور، کلسیم و روی بر باردهی، کیفیت و ریزش جوانه گل و میوه رقم انجیر دیمSmyrniaca. گزارش نهایی موسسه تحقیقات خاک و آب، ۸۶/۷۹۳، کرج، ایران.

[۶] تدین، م.س.، معاف‌پوریان، غ.ر.، شاهرخ‌نیا، م.ع.، تسلیم‌پور، ج.، مفتون‌آزاد، ن. و ن. زارع. ۱۳۹۳الف. بررسی تأثیر آبیاری و محلول‌پاشی اوره، بور و روی بر افزایش گل‌های کامل، تلقیح جوانه‌های گل و باردهی زیتون رقم شنکه (Oleaeuropaea L. clv." Shenke") در رژیم‌های مختلف آبیاری در استان فارس. گزارش نهایی موسسه تحقیقات خاک و آب، ۹۳/۴۵۷۰۶، کرج، ایران.

[۷] تدین، م.س.، معافپوریان، غ.ر.، مفتون‌آزاد، ن.، زارع، ن. و م. روشن‌زاده. ۱۳۹۳ب. بررسی تأثیر همزمان تنش خشکی و محلول‌پاشی اوره بر گل‌انگیزی درخت سیب استاندارد رقم " Golden delicious " در منطقه سپیدان. گزارش نهایی موسسه تحقیقات خاک و آب، ۹۳/۴۵۷۰۲، کرج، ایران.

[۸] دهقان‌پور، ع.، تدین، م.س. و م. مدندوست. ۱۳۹۱. بررسی اثر کود بیولوژیک نیتروکسین بر صفات رشد رویشی گندم زراعی در شرایط رقابت با یولاف وحشی (Avena fatua). سومین همایش ملی علوم کشاورزی و صنایع غذایی، فسا، ایران.

[۹] زارع، ن.، تدین، م.س. و غ.ر. معاف‌پوریان. ۱۳۸۹. اثر تنظیم‌کننده‌یی رشد ایندول بوتیریک اسید(IBA) بر عملکرد و اجزاء عملکرد گندم. مجله علمی و پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی ارسنجان، ۱۰۶-۹۴. ISSN2008-5958.

[۱۰] قدرت، و.، تدین، م.س. و ب. جعفری حقیقی. ۱۳۸۹. بررسی اثر تنظیم‌کننده‌های رشد ایندول بوتیریک اسید و جیبرلیک اسید (IBA، GA3) بر عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

[۱۱] معاف‌پوریان، غ.ر.، تدین، م.س.، زارع، ن. و ع.ع. فتح‌الله‌زاده. ۱۳۹۳. اثر محلول‌پاشی سولفات روی و سولفات آهن بر عملکرد و اجزاء عملکرد کلزا در استان فارس. گزارش نهایی موسسه تحقیقات خاک و آب، ۹۳/۴۶۸۶۰، کرج، ایران.

[۱۲] معاف‌پوریان، غ.ر.، شاکری‌زاده، ع.ر.، محمدی، ح. و م.س. تدین. ۱۳۸۶. اثر زمان مصرف و غلظت سولفات روی در کاهش پوکی پسته. دهمین کنگره علوم خاک و آب ایران، تهران، ایران.

[۱۳] یارمحمودی، ز.، تدین، م.س. و ب. جعفری حقیقی. ۱۳۸۸. بررسی اثر کودهای بیولوژیک حاوی آمینواسیدها بر خصوصیات فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت دانه‌ای رقم ماکسیما تحت شرایط تنش خشکی. مجله علمی و پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی ارسنجان، ۴۸-۳۷ ISSN2008-5958 .

[14] Abadia, J., S. Vazquez, R. Rellan-Alvarez, H. El-Jendoubi, A. Abadia, A. Alvarez- Fernandez and A.F. Lopez-Millan. 2011. Towards a knowledge-based correction of iron chlorosis. Plant Physiology and Biochemistry. 49:471-482.

[15] Albano, J.P. and W.B. Miller. 2001a. Ferric ethylenediaminetetraacetic acid (Fe EDTA) photo degradation in commercially produced soluble fertilizers. Horttechnology. 11:265-267.

[16] Albano, J.P. and W.B. Miller. 2001b. Photodegradation of Fe DTPA in nutrient solutions. I. Effects of irradiance, wavelength, and temperature. Hortscience. 36:313-316.

[17] Albrigo, L.G. 2002. Foliar uptake of N-P-K sources and urea biuret tolerance in citrus. Acta Horticulturae. 594:627-633.

[18] Badawi, A.M., M.A. Mekawi, M.Z. Mohamed, A.S. Mohamed and M.M. Khowdairy. 2007. Surface and biological activity of organoammonium hydrogen selenite surfactants. Journal of Surfactants and Detergents. 10:257-267.

[19] Bi, G.H. and C.F. Scagel. 2008. Nitrogen uptake and mobilization by hydrangea leaves from foliar-sprayed urea in fall depend on plant nitrogen status. Hortscience. 43:2151-2154.

[20] Blandino, M. and A. Reyneri. 2009. Effect of fungicide and foliar fertilizer application to winter wheat at anthesis on flag leaf senescence, grain yield, flour bread-making quality and DON contamination. European Journal of Agronomy. 30:275-282.

[21] Bly, A.G. and H.J. Woodard. 2003. Foliar nitrogen application timing influence on grain yield and protein concentration of hard red winter and spring wheat. Agron. J. 95:335-338.

[22] Bondada, B.R., D.M. Oosterhuis and N.P. Tugwell. 1999. Cotton growth and yield as influenced by different timing of late-season foliar nitrogen fertilization. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 54:1-8.

[23] Bondada, B.R., J.P. Syvertsen and L.G. Albrigo. 2001. Urea nitrogen uptake by citrus leaves. Hortscience. 36:1061-1065.

[24] Bondada, B.R., P.D. Petracek, J.P. Syvertsen and L.G. Albrigo. 2006. Cuticular penetration characteristics of urea in citrus leaves. Journal of Horticultural Science & Biotechnology. 81:219-224.

[25] Boote, K.J., R.N. Gallaher, W.K. Robertson, K. Hinson and L.C. Hammond. 1978. Effect of foliar fertilization on photosynthesis, leaf nutrition, and yield of soybeans. Agron. J. 70:787-791.

[26] Bouma, D. 1975. Effects of some metabolic phosphorus-compounds on rates of photosynthesis of detached phosphorus-deficient subterranean clover leaves. Journal of Experimental Botany. 26:52-59.

[27] Bremner, J.M. 1995. Recent research on problems in the use of urea as a nitrogen fertilizer. Fertilizer Research. 42:321-329.

[28] Brown, P.H. 2001. Transient nutrient deficiencies and their impact on yield - a rationale for foliar fertilizers? Acta Horticulturae. 564:217-223.

[29] Brown, P.H. and E. Bassil. 2011. Overview of the acquisition and utilization of boron, chlorine, copper, manganese, molybdenum, and nickel by plants and prospects for improvement of micronutrient use efficiency. In The molecular and physiological basis of nutrient use efficiency in crops. M.J. Hawkesford and P.B. Barraclough, editors. Wiley-Blackwell. 377-429.

[30] Brown, P.H. and H.N. Hu. 1996. Phloem mobility of boron is species dependent: Evidence for phloem mobility in sorbitol-rich species. Annals of Botany. 77:497-505.

[31] Brown, P.H., S. Perica, L. Hendricks, K. Kelley, J. Grant, S. Sibbett and H. Hu. 1999c. Foliar boron application to decrease PFA, increase fruit set and yield in walnut. Walnut Marketing Board Annual Report. 1999.

[32] Brown, P.H., and B.J. Shelp. 1997. Boron mobility in plants. Plant and Soil. 193:85-101.

[33] Butler Ellis, M.C., C.R. Tuck and P.C.H. Miller. 1997. The effect of some adjuvants on sprays produced by agricultural flat fan nozzles. Crop Protection. 16:41-50.

[34] Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? Plant and Soil. 302:1-17.

[35] Cakmak, I., M. Kalayci, Y. Kaya, A.A. Torun, N. Aydin, Y. Wang, Z. Arisoy, H. Erdem, A. Yazici, O. Gokmen, L. Ozturk and W.J. Horst. 2010. Biofortification and localization of zinc in wheat grain. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 58:9092-9102.

[36] Chatzistathis, T., I. Therios and D. Alfigragis. 2009. Differential uptake, distribution within tissues, and use efficiency of manganese, iron, and zinc by olive cultivars kothreiki and koroneiki. HortScience .44(7): 1994-1999.

[37] Chiu, S.T., L.H. Anton, F.W. Ewers, R. Hammerschmidt and K.S. Pregitzer. 1992. Effects of fertilization on epicuticular wax morphology of needle leaves of douglasfir, Pseudotsuga menziesii (pinaceae). American Journal of Botany. 79:149-154.

[38] Correia, M.A.R., R.D. Prado, L.S. Collier, D.E. Rosane and L.M. Romualdo. 2008. Zinc forms of application in the nutrition and the initial growth of the culture of the rice. Bioscience Journal. 24:1-7.

[39] Crisosto, C.H., F.G. Mitchell and Z.G. Ju. 1999. Susceptibility to chilling injury of peach, nectarine, and plum cultivars grown in California. Hortscience. 34:1116-1118.

[40] Datnoff, L.E., W.H. Elmer. and D.M. Huber. 2007. Mineral nutrition and plant disease. American Phytopathological Society, St Paul, MN. 278.

[41] Deliopoulos, T., P.S. Kettlewell and M.C. Hare. 2010. Fungal disease suppression by inorganic salts: A review. Crop Protection. 29:1059-1075.

[42] Dong, S.F., L.L. Cheng, C.F. Scagel and L.H. Fuchigami. 2002. Nitrogen absorption, translocation and distribution from urea applied in autumn to leaves of young potted apple (Malus domestica) trees. Tree Physiology. 22:1305-1310.

[43] Dong, S.F., L.L. Cheng, C.F. Scagel and L.H. Fuchigami. 2005. Timing of urea application affects leaf and root N uptake in young Fuji/M9 apple trees. Journal of Horticultural Science & Biotechnology. 80:116-120.

[44] Dong T., Xia R.X., Xiao Z.Y., Wang P., Song W.H. 2009. Effect of pre-harvest application of calcium and boron on dietary fibre, hydrolases and ultrastructure in 'Cara Cara' navel orange (Citrus sinensis L. Osbeck) fruit. Sci Hortic, 121: 272-277.

[45] Dordas, C. 2009. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. Agronomy for Sustainable Development. 28:33-46.

[46] Ebrahim, M.K.H. and M.M. Aly. 2004. Physiological response of wheat to foliar application of zinc and inoculation with some bacterial fertilizers. J. Plant Nutr. 27:1859-1874.

[47] Eichert, T., and J. Burkhardt. 2001. Quantification of stomatal uptake of ionic solutes using a new model system. Journal of Experimental Botany. 52:771-781.

[48] Eichert, T. and H.E. Goldbach. 2008. Equivalent pore radii of hydrophilic foliar uptake routes in stomatous and astomatous leaf surfaces - further evidence for a stomatal pathway. Physiol. Plant. 132:491-502.

[49] Eichert, T., J.J. Peguero-Pina, E. Gil-Pelegrin, A. Heredia and V. Fernandez. 2010. Effects of iron chlorosis and iron resupply on leaf xylem architecture, water relations, gas exchange and stomatal performance of field-grown peach (Prunus persica). Physiol. Plant. 138:48-59.

[50] El-Otmani, M., A. Ait-Qubahou, F.Z. Taibi and C.J. Lovatt. 2002. Efficacy of foliar urea as N source in sustainable citrus production systems. Acta Horticulturae. 594:611-617.

[51] Fang, Y., L. Wang, Z. Xin, L.Y. Zhao, X.X. An and Q.H. Hu. 2008. Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 56:2079- 2084.

[52] Fernandez, V. and G. Ebert. 2005. Foliar iron fertilization: A critical review. J. Plant Nutr. 28:2113-2124.

[53] Fernandez, V., I. Orera, J. Abadia and A. Abadia. 2009. Foliar iron-fertilisation of fruit trees: Present knowledge and future perspectives - a review. Journal of Horticultural Science & Biotechnology. 84:1-6.

[54] Fernandez, V., M. Khayet, P. Montero-Prado, J. Alejandro Heredia-Guerrero, G. Liakopoulos, G. Karabourniotis, V. del Rio, E. Dominguez, I. Tacchini, C. Nerin, J. Val and A. Heredia. 2011. New insights into the properties of pubescent surfaces: Peach fruit as a model. Plant Physiology. 156:2098-2108.

[55] Fernandez, V., V. Del Rio, L. Pumarino, E. Igartua, J. Abadia and A. Abadia. 2008. Foliar fertilization of peach (Prunus persica L. batsch) with different iron formulations: Effects on re-greening, iron concentration and mineral composition in treated and untreated leaf surfaces. Scientia Horticulturae. 117:241-248.

[56] Ferrandon, M. and A.R. Chamel. 1988. Cuticular retention, foliar absorption and translocation of Fe, Mn and Zn supplied in organic and inorganic form. J. Plant Nutr. 11:247-263.

[57] Fischer, R.A. and T.C. Hsiao. 1968. Stomatal opening in isolated epidermal strips of Vicia faba. II. Responses to KCl concentration and role of potassium absorption. Plant Physiology. 43:1953-1958.

[58] Garcia, R.L. and J.J. Hanway. 1976. Foliar fertilization of soybeans during seed-filling period. Agron. J. 68:653-657.

[59] Garcia-Lavina, P., A. Alvarez-Fernandez, J. Abadia and A. Abadia. 2002. Foliar applications of acids with and without FeSO4 to control chlorosis in pear. Acta Horticulturae. 594:217-222.

[60] Gerik, T.J., D.M. Oosterhuis and H.A. Torbert. 1998. Managing cotton nitrogen supply. Advances in Agronomy, Vol 64. 64:115-147.

[61] Gheibi, M., M. Malakouti, B. Kholdebarin, F. Ghanati, S. Teimouri and R. Sayadi. 2009. Significance of nickel supply for growth and chlorophyll content of wheat supplied with urea or ammonium nitrate. J. Plant Nutr. 32:1440-1450.

[62] Gholami, A., S. Akhlaghi, S. Shahsavani and N. Farrokhi. 2011. Effects of urea foliar application on grain yield and quality of winter wheat. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 42:719-727.

[63] Girma, K., K.L. Martin, K.W. Freeman, J. Mosali, R.K. Teal, W.R. Raun, S.M. Moges and D.B. Arnall. 2007. Determination of optimum rate and growth stage for foliarapplied phosphorus in corn. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 38:1137-1154.

[64] Grant, C.A., D.N. Flaten, D.J. Tomasiewicz and S.C. Sheppard. 2001. The importance of early season phosphorus nutrition. Can. J. Plant Sci. 81:211-224.

[65] Gray, R.C. and G.W. Akin. 1984. Foliar fertlization In Nitrogen in Crop Production. R.D. Hauck, editor. American Agronomy Society, Madison. 579-584.

[66] Guak, S., D. Neilsen, P. Millard and N.E. Looney. 2004. Leaf absorption, withdrawal and remobilization of autumn-applied Urea-N in apple. Can. J. Plant Sci. 84:259-264.

[67] Haslett, B.S., R.J. Reid and Z. Rengel. 2001. Zinc mobility in wheat: Uptake and distribution of zinc applied to leaves or roots. Annals of Botany. 87:379-386.

[68] Hill, J., A.D. Robson and J.F. Loneragan. 1979a. Effect of copper supply on the senescence and the retranslocation of nutrients of the oldest leaf of wheat. Annals of Botany. 44:279-287.

[69] Hill, J., A.D. Robson and J.F. Loneragan. 1979b. Effects of copper and nitrogen supply on the distribution of copper in dissected wheat grains. Australian Journal of Agricultural Research. 30:233-237.

[70] Hsu, H.H. 1986. The absorption and distribution of metalosates from foliar fertilization. In Foliar Feeding of Plants with Amino Acid Chelates. H. De Wayne Ashmead, editor. Noyes Publications, Park Ridge, NJ. 236-354.

[71] Huang, L.B., R.W. Bell and B. Dell. 2008. Evidence of phloem boron transport in response to interrupted boron supply in white lupin (Lupinus albus L. Cv. Kiev mutant) at the reproductive stage. Journal of Experimental Botany. 59:575-583.

[72] Huett, D.O. and I. Vimpany. 2006. An evaluation of foliar nitrogen and zinc applications to macadamia. Australian Journal of Experimental Agriculture. 46:1373-1378.

[73] Jensen, P.K., L.N. Jorgensen and E. Kirknel. 2001. Biological efficacy of herbicides and fungicides applied with low-drift and twin-fluid nozzles. Crop Protection. 20:57-64.

[74] Jifon, J.L. and G.E. Lester. 2009. Foliar potassium fertilization improves fruit quality of field-grown muskmelon on calcareous soils in south Texas. Journal of the Science of Food and Agriculture. 89:2452-2460.

[75] Johnson, R.S., R. Rosecrance, S. Weinbaum, H. Andris and J.Z. Wang. 2001. Can we approach complete dependence on foliar-applied urea nitrogen in an early-maturing peach? Journal of the American Society for Horticultural Science. 126:364-370.

[76] Jones, C., K. Olson-Rutz and C. Dinkins, P. 2009. Nutrient uptake timing by crops: To assist with fertilizer timing. Montana State University, Extension:1-7.

[77] Keshavarz, K., K. Vandati, M. Samar, B. Azadegan and P.H. Brown. 2011. Foliar application of zinc and boron improves walnut vegetative and reproductive growth. Horttechnology. 21:181-186.

[78] Kinaci, E. and N. Gulmezoglu. 2007. Grain yield and yield components of triticale upon application of different foliar fertilizers. Interciencia. 32:624-628.

[79] Kraemer, T., M. Hunsche and G. Noga. 2009a. Cuticular calcium penetration is directly related to the area covered by calcium within droplet spread area. Scientia Horticulturae. 120:201-206.

[80] Kraemer, T., M. Hunsche and G. Noga. 2009b. Selected calcium salt formulations: Interactions between spray deposit characteristics and Ca penetration with consequences for rain-induced wash-off. J. Plant Nutr. 32:1718-1730.

[81] Kutman, U.B., B. Yildiz and I. Cakmak. 2011. Effect of nitrogen on uptake, remobilization and partitioning of zinc and iron throughout the development of durum wheat. Plant and Soil. 342:149-164.

[82] Leacox, J.D., and J.P. Syvertsen. 1995. Nitrogen uptake by citrus leaves. Journal of the American Society for Horticultural Science. 120:505-509.

[83] Lester, G.E., J.L. Jifon and D.J. Makus. 2010. Impact of potassium nutrition on postharvest fruit quality: Melon (Cucumis melo L.) case study. Plant and Soil. 335:117-131.

[84] Lester, G.E., J.L. Mon and D.J. Makus. 2006. Supplemental foliar potassium applications with or without a surfactant can enhance netted muskmelon quality. Hortscience. 41:741-744.

[85] Liakopoulos, G., S. Stavrianakou, D. Nikolopoulos, E. Karvonis, K.A. Vekkos, V. Psaroudi and G. Karabourniotis. 2009. Quantitative relationships between boron and mannitol concentrations in phloem exudates of Olea europaea leaves under contrasting boron supply conditions. Plant and Soil. 323:177-186.

[86] Ling, F. and M. Silberbush. 2002. Response of maize to foliar vs. soil application of nitrogen-phosphorus-potassium fertilizers. J. Plant Nutr. 25:2333-2342.

[87] Lotze, E., J. Joubert and K.I. Theron. 2008. Evaluating pre-harvest foliar calcium applications to increase fruit calcium and reduce bitter pit in 'Golden Delicious' apples. Scientia Horticulturae. 116:299-304. Lovatt, C.J. 1990. A definitive test to determine whether phosphate fertilization can replace

phosphate fertilization to supply P in the metabolism of hass on Duke 7. California Avocado Society Yearbook 81:61-64.

[88] Majid, N.M. and T.M. Ballard. 1990. Effects of foliar application of copper-sulfate and urea on the growth of lodgepole pine. Forest Ecology and Management. 37:151-165.

[89] Mallarino, A.P., M.U. Haq, D. Wittry and M. Bermudez. 2001. Variation in soybean response to early season foliar fertilization among and within fields. Agron. J. 93:1220-1226.

[90] Malusa, E. and L. Tosi. 2005. Phosphorous acid residues in apples after foliar fertilization: Results of field trials. Food Additives and Contaminants. 22:541-548.

[91] Marschner, H. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. Elsevier, London.

[92] Masi, E. and M. Boselli. 2011. Foliar application of molybdenum: Effects on yield quality of the grapevine Sangiovese (Vitis vinifera L.). Advances in Horticultural Science. 25:37-43.

[93] McBeath, T.M., M.J. McLaughlin and S.R. Noack. 2011. Wheat grain yield response to and translocation of foliar-applied phosphorus. Crop & Pasture Science. 62:58-65.

[94] Miwa, K., M. Tanaka, T. Kamiya and T. Fujiwara. 2010. Molecular mechanisms of boron transport in plants: Involvement of arabidopsis nip5;1 and nip6;1. Mips and Their Role in the Exchange of Metalloids. 679:83-96.

[95] Monge, E., C. Perez, A. Pequerul, P. Madero and J. Val. 1993. Effect of iron chlorosis on mineral-nutrition and lipid-composition of thylakoid biomembrane in Prunus persica L. bastch. Plant and Soil. 154:97-102.

[96] Mosali, J., K. Desta, R.K. Teal, K.W. Freeman, K.L. Martin, J.W. Lawles and W.R. Raun. 2006. Effect of foliar application of phosphorus on winter wheat grain yield, phosphorus uptake, and use efficiency. J. Plant Nutr. 29:2147-2163.

[97] Neilsen, G.H. and P.B. Hoyt. 1984. Field comparison of chelated and epsom salt magnesium foliar sprays on apple-trees. Hortscience. 19:431-432.

[98] Neilsen, G.H., E.J. Hogue, D. Neilsen and P. Bowen. 2005. Postbloom humic- and fulvic-based zinc sprays can improve apple zinc nutrition. Hortscience. 40:205-208.

[99] Neumann, P.M. and M. Giskin. 1979. Late season foliar fertilization of beans with NPKs - effects of cytokinins, calcium and spray frequency. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 10:579-589.

[100] Nicoulaud, B.A.L. and A.J. Bloom. 1998. Nickel supplements improve growth when foliar urea is the sole nitrogen source for tomato. Journal of the American Society for Horticultural Science. 123:556-559.

[101] Noack, S.R., T.M. McBeath and M.J. McLaughlin. 2011. Potential for foliar phosphorus fertilisation of dryland cereal crops: A review. Crop & Pasture Science. 62:659-669.

[102] Nuyttens, D., W.A. Taylor, S.B. De Schampheleire, P. Verboven, and D. Dekeyser. 2009. Influence of nozzle type and size on drift potential by means of different wind tunnel evaluation methods. Biosystems Engineering. 103:271-280.

[103] Nyomora, A.M.S., P.H. Brown and B. Krueger. 1999. Rate and time of boron application increase almond productivity and tissue boron concentration. Hortscience. 34:242-245.

[104] Oosterhuis, D.M. and B.R. Bondada. 2001. Yield response of cotton to foliar nitrogen as influenced by sink strength, petiole, and soil nitrogen. J. Plant Nutr. 24:413-422.

[105] Pandey, N., G.C. Pathak and C.P. Sharma. 2006. Zinc is critically required for pollen function and fertilisation in lentil. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 20:89-96.

[106] Pandey, N., G.C. Pathak and C.P. Sharma. 2009. Impairment in reproductive development is a major factor limiting yield of black gram under zinc deficiency. Biologia Plantarum. 53:723-727.

[107] Penner, D. 2000. Activator adjuvants. Weed Technology. 14:785-791.

[108] Perica, S., P.H. Brown, J.H. Connell, A.M.S. Nyomora, C. Dordas, H.N. Hu and J. Stangoulis. 2001. Foliar boron application improves flower fertility and fruit set of olive. Hortscience. 36:714-716.

[109] Peryea, F.J. 2006. Phytoavailability of zinc in postbloom zinc sprays applied to 'Golden Delicious' apple trees. Horttechnology. 16:60-65.

[110] Peryea, F.J. 2007. Comparison of dormant and circum-bloom zinc spray programs for Washington apple orchards. J. Plant Nutr. 30:1903-1920.

[111] Peryea, F.J., D. Neilsen, and G. Neilsen. 2003. Boron maintenance sprays for apple: Earlyseason applications and tank-mixing with calcium chloride. Hortscience. 38:542-546.

[112] Picchioni, G.A. and S.A. Weinbaum. 1995. Retention and the kinetics of uptake and export of foliage-applied, labeled boron by apple, pear, prune, and sweet cherry leaves. Journal of the American Society for Horticultural Science. 120:28-35.

[113] Porro, D., C. Dorigatti, M. Stefanini, M. Policarpo, F. Camin and L. Ziller. 2006. Foliar nitrogen composition and application timing influence nitrogen uptake by, as well as partitioning within, two grapevine cultivars. Acta Horticulturae. 721:245-250.

[114] Prior, S.A., S.G. Pritchard, G.B. Runion, H.H. Rogers, and R.J. Mitchell. 1997. Influence of atmospheric CO2 enrichment, soil N, and water stress on needle surface wax formation in Pinus palustris (pinaceae). American Journal of Botany. 84:1070-1077.

[115] Restrepo-Diaz, H., M. Benlloch and R. Fernandez-Escobar. 2008. Plant water stress and K+ starvation reduce absorption of foliar applied K+ by olive leaves. Scientia Horticulturae. 116:409-413.

[116] Restrepo-Diaz, H., M. Benlloch and R. Fernandez-Escobar. 2009. Leaf potassium accumulation in olive plants related to nutritional K status, leaf age, and foliar application of potassium salts. J. Plant Nutr. 32:1108-1121.

[117] Robertson, D., H.P. Zhang, J.A. Palta, T. Colmer and N.C. Turner. 2009. Waterlogging affects the growth, development of tillers, and yield of wheat through a severe, but transient, N deficiency. Crop & Pasture Science. 60:578-586.

[118] Rose, T.J., Z. Rengel, Q. Ma and J.W. Bowden. 2007. Differential accumulation patterns of phosphorus and potassium by canola cuffivars compared to wheat. Journal of Plant Nutrition and Soil Science-Zeitschrift für Pflanzenernahrung und Bodenkunde. 170:404-411.

[119] Rosecrance, R.C., S.A. Weinbaum and P.H. Brown. 1996. Assessment of nitrogen, phosphorus, and potassium uptake capacity and root growth in mature alternatebearing pistachio (*Pistacia vera*) trees. Tree Physiology. 16:949-956.

[120] Rosecrance, R.C., S.A. Weinbaum and P.H. Brown. 1998. Alternate bearing affects nitrogen, phosphorus, and potassium and starch storage pools in mature pistachio trees. Annals of Botany. 82:463-470.

[121] Sanchez, E.E., S.A. Weinbaum and R.S. Johnson. 2006. Comparative movement of labelled nitrogen and zinc in 1-year-old peach Prunus persica L. batsch trees following late-season foliar application. Journal of Horticultural Science & Biotechnology. 81:839-844.

[122] Sanchez, E.E., T.L. Righetti, D. Sugar and P.B. Lombard. 1990. Response of Comice pear trees to a postharvest urea spray. Journal of Horticultural Science. 65:541-546.

[123] Sartori, R.H., A.E. Boaretto, F.C. Alvarez Villanueva and H.M. Gimenes Fernandes. 2008. Foliar and radicular absorption of 65Zn and its redistribution in citrus plant. Revista Brasileira De Fruticultura. 30:523-527.

[124] Scagel, C.F., G.H. Bi, L.H. Fuchigami and R.P. Regan. 2008. Rate of nitrogen application during the growing season and spraying plants with urea in the autumn alters uptake of other nutrients by deciduous and evergreen container-grown rhododendron cultivars. Hortscience. 43:1569-1579.

[125] Schlegel, T.K. and J. Schnherr. 2002. Stage of development affects penetration of calcium chloride into apple fruits. Journal of Plant Nutrition and Soil Science- Zeitschrift für Pflanzenernahrung und Bodenkunde. 165:738-745.

[126] Schmitz-Eiberger, M.A., R. Haefs and G.J. Noga. 2002. Enhancing biological efficacy and rainfastness of foliar applied calcium chloride solutions by addition of rapeseed oil surfactants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 165:634-639.

[127] Schnherr, J. and M. Luber. 2001. Cuticular penetration of potassium salts: Effects of humidity, anions, and temperature. Plant and Soil. 236:117-122.

[128] Schnherr, J., V. Fernndez, and L. Schreiber. 2005. Rates of cuticular penetration of chelated Fe(III): Role of humidity, concentration, adjuvants, temperature, and type of chelate. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 53:4484-4492.

[129] Sharma, P.N., C. Chatterjee, S.C. Agarwala and C.P. Sharma. 1990. Zinc-deficiency and pollen fertility in maize (Zea mays). Plant and Soil. 124:221-225.

[130] Smith, M.W. and J.B. Storey. 1979. Zinc concentration of pecan leaflets and yield as influenced by zinc source and adjuvants. Journal of the American Society for Horticultural Science. 104:474-477.

[131] Sonmez, S., M. Kaplan, N.K. Sonmez, H. Kaya and I. Uz. 2006. High level of copper application to soil and leaves reduce the growth and yield of tomato plants. Scientia Agricola. 63:213-218.

[132] Southwick, S.M., W. Olson, J. Yeager and K.G. Weis. 1996. Optimum timing of potassium nitrate spray applications to 'French' prune trees. Journal of the American Society for Horticultural Science. 121:326-333.

[133] Sparks, D. 1986. Growth and nutrition of pecan seedlings from potassium phosphate foliar sprays. Hortscience. 21:451-453.

[134] Stevens, P.J.G. 1993. Organosilicone surfactants as adjuvants for agrochemicals. Pesticide Science. 38:103-122.

[135] Swietlik, D. 2002. Zinc nutrition of fruit crops. Horttechnology. 12:45-50.

[136] Tagliavini, M., J. Abadia, A.D. Rombola, A. Abadia, C. Tsipouridis and B. Marangoni. 2000. Agronomic means for the control of iron deficiency chlorosis in deciduous fruit trees. J. Plant Nutr. 23:2007-2022.

[137] Tagliavini, M., P. Millard and M. Quartieri. 1998. Storage of foliar-absorbed nitrogen and remobilization for spring growth in young nectarine (Prunus persica var. Nectarina) trees. Tree Physiology. 18:203-207.

[138] Tisdale, S.L. and W.L. Nelson. 1975. Soil fertility and fertilizers. MacMillan, New York. Tomar, J.S., A.F. Mackenzie, G.R. Mehuys, and I. Alli. 1988. Corn growth with foliar nitrogen, soil-applied nitrogen, and legume intercrops. Agron. J. 80:802-807.

[139] Val, J. and V. Fernandez. 2011. In-season calcium-spray formulations improve calcium balance and fruit quality traits of peach. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 174:465-472.

[140] Van Goor, B.J. 1973. Penetration of surface applied calcium-45 into apple fruit. Journal of Horticultural Science. 48:261-270.

[141] Varga, B. and Z. Svecnjak. 2006. The effect of late-season urea spraying on grain yield and quality of winter wheat cultivars under low and high basal nitrogen fertilization. Field Crops Research. 96:125-132.

[142] White, P.J. and M.R. Broadley. 2003. Calcium in plants. Annals of Botany. 92:487-511.

[143] Will, S., T. Eichert, V. Fernandez, J. Moehring, T. Mueller and V. Roemheld. 2011. Absorption and mobility of foliar-applied boron in soybean as affected by plant boron status and application as a polyol complex. Plant and Soil. 344:283-293.

[144] Wimmer, M.A., K.H. Muhling, A. Lauchli, P.H. Brown and H.E. Goldbach. 2003. The interaction between salinity and boron toxicity affects the subcellular distribution of ions and proteins in wheat leaves. Plant Cell and Environment. 26:1267-1274.

[145] Witte, C.P. 2011. Urea metabolism in plants. Plant Science. 180:431-438.

[146] Wittwer, S.H., and F.G. Teubner. 1959. Foliar absorption of mineral nutrients. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol. 10:13-32.

[147] Wojcik, P. 2004. Uptake of mineral nutrients from foliar fertilization - (review). Journal of Fruit and Ornamental Plant Research. 12:201-218.

[148] Zaragoza, S., C. Gazzola, I. Trenor, E. Alonso, E. Primo-Milo, V. Almela, M. Juan and M. Agusti. 1996. Control of peel pitting of "Fortune" mandarin. Proc. Int. Soc. Citriculture: 1105-1109.

[149] Zhang, Q.L. and P.H. Brown. 1999a. Distribution and transport of foliar applied zinc in pistachio. Journal of the American Society for Horticultural Science. 124:433-436.

[150] Zhang, Y., R. Shi, K.M. Rezaul, F. Zhang and C. Zou. 2010. Iron and zinc concentrations in grain and flour of winter wheat as affected by foliar application. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 58:12268-12274.

Islamic Republic of Iran

MINISTRY OF AGRICULTURE – JAHAD

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Soil and Water Research Institute

Practical Tips on Foliar Nutrition of Horticultural and Crop Plants

Mohammad Saeed Tadayon

2019