

اهمیت تغذیه کلر در گیاهان

کلر شمشیری دو لبه

۱۴۰۱/۰۳/۰۱

اهمیت تغذیه کلر در گیاهان

مقدمه

گیاهان برای رشد، تکامل و ادامه حیات به ۱۶ عنصر غذایی نیاز دارند. این عناصر شامل Cl, S, Mg, Ca, K, P, N و O, H, C, Mo, B, Cu, Mn, Zn, Fe می باشند، نیاز گیاه به برخی از این عناصر کم و برخی دیگر برای زنده ماندن گیاه ضروری اند. برخی از این عناصر مانند اکسیژن، کربن و هیدروژن از طریق هوا تأمین می شود و سایر عناصر از طریق مواد معدنی موجود در خاک در اختیار گیاه قرار می گیرد.

اگرچه کلر به عنوان یک عنصر ماکرو مفید در گیاهان و وظایف مهمی را بر عهده دارد اما طبق یک باور قدیمی و به ویژه در متون کشاورزی کلر بیشتر به عنوان آنیونی سمی شناخته می شود تا یک عنصر غذایی و این مفهوم به دو دلیل پررنگ شده است: اول سمیتی که از تجمع کلر در شرایط تنش شوری ایجاد می شود و دوم اینکه تجمع و جذب کلر توسط ریشه به ضرر تغذیه نیترات (مهمترین منبع نیتروژن برای گیاهان عالی) است.

اما چطور می توان در برابر این دو باور از کلر دفاع کرد؟

بر خلاف نیترات، کلر یکی از ۱۶ عنصر ضروری برای رشد گیاه است. کلر به میزان خیلی کم برای سلامت و رشد گیاه لازم است و به عنوان ریزمغذی دسته بندی می شود. کلر را می توان به عنوان عنصر ریزمغذی ضروری و به عنوان عنصر سمی در شرایط تنش شوری مورد بررسی قرار داد.

بر خلاف این باور که نیاز گیاهان به کلر اندک است، اما به طور میانگین اکثر گیاهان به کلر بیش از غلظت یک ریزمغذی نیاز دارند. کلر فروانترین آنیون غیرآلی در سلول های گیاه است و جالب است که این مقدار کلر با برخی از منابع که کلر را برای گیاه سمی می داند، همپوشانی دارد. میانگین کلر مورد نیاز در گونه های مختلف گیاهی بین ۲۰-۲، در گیاهان حساس ۷-۴ و در گیاهان مقاوم به کلر $15-35 \text{ mg/g D.M}^1$ است. اکثراً گیاهان می توانند غلظت-های ۱۰-۱۰۰ برابر بیشتر کلر را در اندام های خود ذخیره کنند، بدون اینکه مسموم شوند.

^۱dry matter=وزن خشک

در بسیاری از مطالعات کشاورزی به نقش کلر در افزایش قابل توجه عملکرد در محصولات مختلف کشاورزی اشاره شده است. وجود کلر در سیستم تنفس گیاه، تقسیم آب، فعالیت‌های آنزیمی گیاه به **عنوان یک ریزمغذی** ضروری است و اما وجود کلر به عنوان **عنصر ماکرو مفید** موجب افزایش بیوماس خشک شده و عملکرد گیاه را بهبود می‌دهد. عنصر مفید در گیاهان به اینصورت تعریف می‌شود که این عناصر رشد گیاه را تحریک می‌کنند اما برای گونه‌های گیاهی خاص یا تحت شرایط ویژه ضروری نیستند. گرچه کلر عنصر پرمصرف ضروری نیست، اما تجمع کلر تا سطح عنصر پرمصرف در گیاه موجب تحریک رشد گیاه می‌شود. به علاوه به عنوان عنصر ریزمغذی، از کلر به عنوان یک عنصر ریزمغذی مفید یاد می‌شود.

نتایج مثبت تغذیه گیاه با کلر

- بالانس بار، تنظیم اسمزی، تورژسانس، حجم سلولی و رشد
- تعادل آب سلول و افزایش ظرفیت ذخیره آب در سلول‌های گیاهی
- بهبود فتوسنتز و کارایی مصرف آب
- کارایی انرژی و افزایش ماده خشک
- بهبود کارایی مصرف نیتروژن
- بهبود فعالیت کلروپلاست و عملکرد اندامکی
- ایجاد و انتشار سیگنال‌های الکتریکی، جریان‌های یونی در گردش و ایمنی گیاه
- بهبود عملکرد محصول

بالانس بار، تنظیم اسمزی، تورژسانس، حجم سلولی و رشد

تحقیقات اخیر حاکی از آن است که کلر تعیین‌کننده **کمیت و کیفیت اسمز** در گیاه است و به اندازه کافی توسط سایر آنیون‌های پرمصرف جایگزین نمی‌شود. میزان تجمع مؤثر کلر در برگ‌های تنباکو چهار برابر نترات و سه برابر بیشتر از مجموع سولفات + فسفات است. در سلول‌های جانوری نیز غلظت کلر نقش حیاتی در تنظیم اسمز سلولی

دارد. کلر در تأمین اسمولاریته سلول، تجمع آب و تورژسانس بسیار مؤثر است (در نهایت موجب تحریک طویل شدن سلول می‌شود).

زمانیکه به کلر به عنوان یک ریزمغذی نگاه می‌کنیم، میزان کافی آن برای تقسیم سلولی نیاز است و به عنوان عنصر ماکرو به ویژه در تنباکو برای طویل شدن سلول‌های برگ مورد نیاز است.

تحریک رشد سلول‌های گیاهی وابسته به کلر در سایر اندام‌ها و انواع سلول‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفته مانند: طویل شدن سلول‌های اپیدرمی میانگره در نخود فرنگی، سلول‌های کشیده کولئوپتیل در نهال‌های علفی و طویل شدن لوله گرده. در برخی از این فرآیندها کلر توسط نیترات یا سایر آنیون‌های غیرآلی جانشین می‌شود که مانع تحریک یا کاهش تحریک طویل شدن سلولی می‌شود و این امر ویژگی کلر را آشکار می‌کند.

در حقیقت مصرف نیترات نسبت طویل شدن سلولی را افزایش می‌دهد و برای طویل شدن سلول به کلر نیاز است. تحقیقات ثابت کرده که بسیاری از فرآیندهایی که در آن کلر باعث افزایش طول سلول یا عملکرد سلول‌های حرکتی می‌شود، به اکسین پاسخ می‌دهند که به نوبه خود نقش کلر را به عنوان پیش‌نیاز طویل شدن سلول‌ها نشان می‌دهد. اگرچه مکانیسمی که واکنش‌های بین توسعه گیاه، چرخه سلولی، فعالیت فیتوهورمون‌ها و هموستازی^۲ کلرور در گیاهان را تنظیم می‌کنند همچنان ناشناخته‌اند.

AGRIPARS Optimizing Crop Nutrition

تعادل آب سلول و هیدراسیون بافت

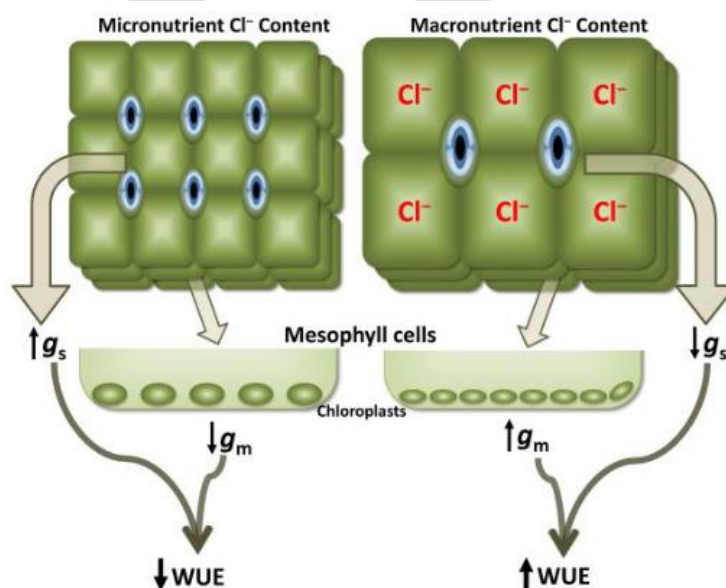
مجموع خواصی که برای کلر گفته شد، اسمولاریته بالاتر، سلول‌های برگ بزرگتر با توانایی بیشتر، بخش‌بندی یونی و تورژسانس بالاتر، نقش کلر را به عنوان عنصر غذایی پرمصرف نمایان می‌کند و ظرفیت ذخیره آب در سلول-های گیاهی را افزایش می‌دهد.

^۲ هرگونه فرآیندهای تنظیمی در موجود زنده که موجب ثبات و تعادل فیزیکی و شیمیایی، رشد و تکثیر شود.

روابط آبی کل گیاه، فتوسنتز و کارآیی مصرف آب

کلر به صورت همزمان رشد را تحریک و مصرف آب را کاهش می‌دهد و در نتیجه بهبود کارآیی آب^۳ اتفاق می‌افتد. کلر رسانش انتشار مزوفیل را به CO_2 افزایش می‌دهد. این پدیده باعث می‌شود سطح بالاتری از کلروپلاست در معرض فضای هوایی سلول‌های مزوفیل قرار گیرد و این مطلب به نقش تغذیه‌ای کلر در کارآیی کلروپلاست اشاره دارد. g_m^4 بالاتر کاهش g_s^5 را جبران کرده و در نتیجه بطور کلی WUE^6 را بالا می‌برد.

نقش تغذیه کلر در افزایش عملکرد و بهبود کارآیی مصرف آب (WUE) تمرکز بسیاری از تحقیقات گیاهی را به سوی خود جلب کرده است. از اثرات خوب کلر در سطح عنصر پرمصرف می‌توان به نگهداشت نسبت بالای فتوسنتز و بهبود WUE به ویژه در گیاهان C_3 اشاره کرد، کاهش آب از طریق تعرق به طور ذاتی به نفع فرآیند تثبیت CO_2 اتمسفری است.



^۳ Water use efficiency WUE

^۴ نشر گاز در مزوفیل

^۵ نشر گاز در روزنه‌ها

^۶ کارآیی مصرف آب

شکل ۱- تغذیه کلر در سطح عنصر ماکرو به طور معنی داری موجب افزایش اندازه سلول‌های برگ می‌شود و در نتیجه باعث کاهش چگالی روزنه‌ها و میزان رسانایی g_s می‌گردد. در همین روند کلر رسانش و انتشار CO_2 در مزوفیل را (حداقل در این بخش) بواسطه افزایش مساحت سطح کلروپلاستی که در معرض فضاهاى بین سلولی قرار می‌گیرد، بهبود می‌دهد. رسانش پخشیدگی بالاتر مزوفیل، کاهش رسانش روزنه‌ها را جبران می‌کند و در نتیجه موجب WUE بالاتر می‌گردد.

اثرات ویژه کلر بر روی هدایت هیدرولیکی ریشه، از طریق تنظیم حامل آبی واسطه-آکوپارین^۷ از طریق PM^A سلول‌های ریشه یکی از مسائلی است که تاکنون ناشناخته مانده است. شواهد حاکی از آن است که در اسمولاریته گیاه و جریان آبی از ریشه به آوند چوبی دو یون کلر و پتاسیم نقش دارند. بعلاوه نقش کلر در تسهیل بارگیری و تخلیه قندها در شیره آبکش نیز پیشنهاد شده است.

کار آبی انرژی و افزایش ماده خشک

افزایش تولید بیوماس بواسطه تغذیه کلر در سطح ماکرو بخاطر تحریک تورژسانس بالاتر، اندازه سلول و بسط شاخسار است. کلر نه تنها وزن تر گیاه را بواسطه افزایش تجمع آب افزایش می‌دهد، بلکه بیوماس خشک را نیز بالا می‌برد. این پدیده به افزایش مؤثر در کار آبی کربن و نیتروژن نیاز دارد. فراوانترین گونه‌های آنیونی مورد استفاده به عنوان مولکول تنظیم کننده اسمز در گیاهان شامل کلر، نترات و مالات است. از نظر صرفه هزینه، تجمع کلر بسیار کارآمد است. از سوی دیگر انرژی تولید اسمولاریته توسط جریان کلر همیشه کمتر از سنتز اسیدهای آلی است. از طرفی هزینه بخش بندی واکوئلی کلر احتمالاً در مقایسه با سکوستریشن نترات انرژی کمتری نیاز دارد. دلیل پیشنهادی برای این موضوع این است که مکانیسم رایج برای بخش بندی کلر بر اساس فعالیت کانال‌های آنیونی است، در حالیکه برای نترات به سطح بالاتری از مکانیسم‌های انتقال فعال ثانویه بستگی دارد. به علاوه بخش بندی کلر (با دسترسی بیشتر و اسمولیت ارزاتر) تجمع واکوئلی نترات و مالات را کاهش می‌دهد که موجب می‌شود این دو منبع مهم کربن و نیتروژن برای رشد و متابولیسم گیاه در دسترس تر باشند.

^۷ aquaporin-mediated

^A Plasma membrane

گیاهان هالوفیت که تحت شرایط کمبود کلر رشد کرده‌اند، غلظت‌های بیشتری از نیترات و مالات را نسبت به گیاهانی که در غلظت مناسب کلریدسديم رشد کرده‌اند جمع می‌کنند. جدای از این تفاسیر، انتظار می‌رود تمامی فواید همراه با تغذیه کلر به عنوان عنصر پرمصرف، مانند وضعیت بهتر آب، پخشیدگی بیشتر مزوفیل به CO_2 و احتمالاً سایر فاکتورهایی که همچنان تفسیر نشده موجب بهبود توسعه گیاه، متابولیسم و رشد می‌شوند.

اثر متقابل Cl/NO_3^- و کار آبی مصرف نیتروژن

در گیاهان زراعی یکی از مهمترین عناصر محدود کننده رشد، نیتروژن است که برای تولید پروتئین، اسید نوکلئیک و متابولیسم ثانویه ضروری است. نیترات یکی از مهمترین و بزرگترین منابع نیتروژن است که به عنوان مولکول شاخص در کنترل بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک، رشد گیاه و عملکرد محصول دخیل است. نیترات و کلر هر دو از فراوانترین آنیون‌های غیر آلی در گیاه هستند و خواص فیزیکی و مکانیسم‌های انتقال مشابهی را به اشتراک می‌گذارند، که مربوط به منشأ واکنش‌های دینامیکی قوی بین دو آنیون تک ظرفیتی است.

جذب کلر ریشه در حضور نیترات مهار می‌شود و همینطور تجمع بالاتر کلر منجر به حضور میزان کمتر نیترات در گیاه می‌شود و نشانگر این است که جریان دو آنیون توسط مکانیسم‌های انتقال یکسان انجام شده است. این واکنش آنتاگونیستی بین کلر و نیترات یکی از دلایلی است که در بسیاری از تألیفات، مضرات کلر برای کشاورزی مورد بحث قرار گرفته است. البته ارجحیت نیترات در تغذیه منطقی است زیرا مولکولی است که بعد از جذب توسط ریشه ترجیحاً برای جذب آنابولیکی استفاده می‌شود، در حالیکه کلر در بافت‌های گیاهی تجمع پیدا می‌کند، زیرا متابولیزه نمی‌شود. بعلاوه اگرچه نسبت جذب کلر خالص بطور قابل ملاحظه‌ای بالاتر از نسبت رقت تعیین شده برای رشد گیاه است، افزایش مداوم غلظت کلر ممکن است منجر به آسیب‌هایی در اندام‌های گیاهان حساس شود.

کار آبی مصرف نیتروژن^۹ شاخصی مهم در کشاورزی، برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی است و فواید قابل توجهی برای کشاورز و محیط زیست دارد. جذب و تخصیص نیترات، فاکتورهایی کلیدی در تنظیم NUE هستند. با توجه به تعامل نزدیک بین کلر و نیترات انتظار می‌رود که کلر به طور معنی‌داری بر NUE اثر گذار باشد. سوال مهم

^۹ NUE : عملکرد گیاه بر واحد نیتروژن مصرف شده

این است که آیا کلر شاخص NUE را بهتر می کند یا بدتر؟ باور معمول این است که کلر نه تنها جذب نیترا ت از ریشه را کاهش می دهد، بلکه با کاهش انتقال ریشه به شاخه، از طریق بخش بندی کلر، شاخص NUE را کاهش می دهد.

آزادسازی آنیون کلر از سلول های ریشه به کانال های آنیونی (بجای جریان نیترا ت) می تواند مکانیسم مهمی برای ممانعت از کاهش منبع مهمی چون نیتروژن باشد، که انتظار می رود NUE را بهبود دهد. بخش بندی واکوئلی نیترا ت میزان تجمع این عنصر در بافت های گیاهی را تعیین می کند و مطالعات مختلفی روابط بین میزان نیترا ت و NUE را آشکار کردند. در گونه ای از کلزا، افزایش NUE با تجمع بالاتر نیترا ت در شاخسار و میزان کمتر آن در ریشه همبستگی دارد و اینجاست که فرضیه بخش بندی ترجیحی کلر پررنگ می شود: گیاهان ترجیح می دهند از کلر به عنوان مولکول اسمولاریته استفاده کنند، در حالیکه وقتی کلر به میزان کافی در خاک در دسترس نباشد، نیترا ت (به عنوان منبع نیتروژن برای گیاهان) آسیمیلت شده و به عنوان اُسمولیت استفاده می شود.

در تنباکو استفاده محلول غذایی پایه از محلول نمکی حاوی کلر، مقدار نیترا ت برگ را $6/5$ برابر کاهش داد، در حالیکه استفاده از محلول نمکی حاوی اکی والان های مساوی از فسفات + سولفات میزان نیترا ت برگ را $1/7$ برابر کاهش داده است. جالب اینجاست که اگرچه گیاهان تیمار شده با کلر حاوی $3/6$ برابر نیترا ت کمتر نسبت به تیمار فسفات + سولفات هستند، اما بیوماس بالاتری دارند و این مطلب به طور جدی این فرضیه را تقویت می کند که کلر میزان NUE را بهبود می دهد هر چند میزان نیترا ت برگ را کاهش می دهد.

بطور خلاصه محتملترین سناریو پیشنهادی اینگونه است که، زمانیکه نیترا ت در دسترس است مکانیسم انتقال فعال (غالباً برای نیترا ت انتخاب پذیری بیشتری دارد تا کلر) جریان نیترا ت را به وسیله ممانعت در جذب کلر اولویت می دهد. زمانیکه نیترا ت کمتری در دسترس است، جریان کلر کمتر محدود می شود و غلظت کلر بین سلولی و میزان جذب ریشه ای کلر افزایش پیدا می کند که انتظار می رود جایگزین نیترا ت در توابع مهم اسمزی می شود و اجازه می دهد مصرف نیتروژن موجود کارآمدتر شود. گونه ها یا ارقام با ظرفیت نگهداری کلر بالاتر (مثل تنباکو) احتمالاً دارای ناقل های جریان آنیونی با انتخاب پذیری بیشتر کلر هستند.

یکی دیگر از جنبه‌هایی که روابط بین کلر و NUE را پیشنهاد می‌دهد این است که کلر بر فعالیت سنتز آسپاراژین اثر محرک دارد. کلراید میل ترکیبی آسپاراژین سنتتاز را برای گلوتامات (بستر آن) افزایش می‌دهد. آسپاراژین ترکیبی مهم در انتقال نیتروژن محلول در بسیاری از گیاهان است و به نقش تغذیه‌ای کلر در انتقال و متابولیسم نیتروژن اشاره دارد.

کلروپلاست و عملکرد اندامکی

کلراید یکی از فراوانترین آنیون‌ها در استرومای کروپلاست است. بعد از شروع روشنایی، جریان کلر از استروما^{۱۰} به لومن^{۱۱} برای تورم تیلاکوئید ضروری است. متقابلاً برگشت مجدد کلر به استروما منجر به کوچک شدن تیلاکوئید در طول انتقال به تاریکی می‌شود. مشابه نقشی که کلر در تحریک تورژسانس سلولی و طویل شدن آن ایفا می‌کند، تنظیم انبساط تیلاکوئید این احتمال را تقویت می‌کند که کلر در تحریک تنظیم اسمز کلروپلاست و رشد آن نقش دارد و می‌تواند به عنوان پیش‌سازی برای تقسیمات بعدی آن باشد، بنابراین افزایش پخشیدگی مزوفیل به CO₂ در گیاهان تیمار شده با کلر در سطح عنصر غذایی پرمصرف با بیوژنز بیشتر کلروپلاست مرتبط است.

جریان کلر همچنین در تنظیم انتقال الکترون فتوسنتز و مکانیسم‌های حفاظت نوری در کلروپلاست نقش مهمی ایفا می‌کند. تجمع پروتون‌ها در تیلاکوئید لومن بصورت الکتریکی توسط جریان کلر متوازن می‌شود، این مطلب حاکی از آن است که کلر شیب ایجاد شده بین لومن و استروما را تنظیم می‌کند. هموستاز کلر کافی که توسط کانال‌های کلر تیلاکوئید تنظیم می‌شود، برای تنظیم فتوسنتز با نوسانات نوری و شرایط محیطی ضروری است. بنابراین نقش کلر برای عملکرد مناسب کلروپلاست و تولید ویژه عنصری (مثلاً اینکه کلر به کانال‌های ویژه کلر نیاز دارد) حداقل تا حدی می‌تواند نیاز بیشتر گیاه به کلر را در مقایسه با سایر مولکول‌های مشابه نظیر نترات توضیح دهد.

^{۱۰} سیال کلروپلاست

^{۱۱} Lumen

سایر عملکردها: سیگنال‌های الکتریکی، جریان‌های یونی در گردش و ایمنی گیاه

نقش ویژه کلر در سیگنال‌های الکتریکی در حال تکثیر و جریان‌های یونی در گردش نیز توصیف شده‌اند، اگرچه این روابط به کلر در سطح ماکروالمنت نیاز ندارند. سیگنال‌های الکتریکی شامل پتانسیل عمل، پتانسیل موج آرام و پتانسیل‌های سیستم، به سرعت در پاسخ به محرک‌های زنده و غیرزیستی منتشر می‌شوند و به عنوان عدم تعادل یونی در سرتاسر غشای پلاسمایی^{۱۱} منجر به گذار ولتاژ می‌شود. چرخش جریان‌های یونی از طریق لوله گرده، شامل جذب کلر در محدوده‌های بالغ و آزادسازی کلر جوانه‌های رأسی، برای جوانه‌زنی گرده و رشد لوله گرده مهم است.

ارتباط کلر با عملکرد محصول

این ایده که فقط مقادیر کمی از کلر برای رشد بهینه گیاه نیاز است و اینکه بطور طبیعی سطوح کافی کلر نیازهای محصولات را برآورده می‌کند، هنوز هم زیربنای تحقیقات زراعی و حتی علمی است. اگرچه براساس یافته‌هایی که در بالا مورد بحث قرار گرفت و توصیف شد، محصولات می‌توانند از کوددهی کلر بیش از باور عموم بهره‌مند شوند. میزان کلر مورد نیاز برای دستیابی به فواید آن به عنوان درشت‌مغذی، به سطح طبیعی کلر موجود در خاک و نیاز ویژه محصولات کشت شده بستگی دارد. پاسخ‌های اساسی برای کودهای حاوی کلر در محصولات مختلفی در بسیاری از بخش‌های جهان گزارش شده است:

اخیراً اثبات شده که تعدادی از اختلالات فیزیولوژیک در رشد و عملکرد گندم دوروم به دلیل کمبود کلر در خاک است. به دلایل نامشخصی برخی گیاهان مانند کیوی و درخت پالم نیاز کلر بالاتری دارند که حتی با مصرف نیترات برطرف نمی‌شود. این گیاهان می‌توانند مدل‌های با ارزشی برای درک بهتر تنظیمات هموستازی در گیاهان عالی باشند. برای مثال نارگیل برای تنظیم بهتر عملکرد روزنه‌هایش وابستگی بیشتر به کلر دارد، به طوریکه بازشدن روزنه‌ها در شرایط کمبود کلر حدود ۳ ساعت با تأخیر انجام می‌شود. جالب است که در دیگر نخیلات در طول بسته شدن روزنه

^{۱۱} Plasma membrane

کلر به جای نیترات آزاد می‌شود، در حالیکه نیترات به عنوان یک مولکول سیگنال برای تحریک پاسخ وابسته به ABA^{13} مورد نیاز است.

رشد تنباکو با تغذیه کلر افزایش پیدا می‌کند. در گونه‌های مختلف مرکبات (که همیشه فرض می‌شود به کلر حساسند) بعد از ۳۰ هفته تغذیه با محلول حاوی غلظت تنظیم شده کلر، عملکرد گیاه بهبود یافت و هیچ علائمی از استرس شوری نشان نداد.

Watanable و همکاران گزارش کردند که غلظت برگ از ۶۷۰ گونه متعلق به ۱۳۸ خانواده کمتر از محدوده مناسب تغذیه کلر است و این مطلب نشانگر این است که اکثر گیاهان از کوددهی کلر در بسیاری از محیط‌ها سود می‌برند. در زمینه کشاورزی خاک‌های با کمبود کلر را می‌توان از طریق رشد گیاهان مهمی مانند نارگیل، نخل روغنی، گندم، گندم دوروم و ذرت تشخیص داد.

همبستگی نزدیک بین هموستازی کلر و NUE و مدیریت مناسب نسبت NO_3^-/Cl^- در سیستم‌های مختلف کشاورزی می‌تواند نسبت نیترات ورودی را کاهش دهد بدون اینکه عملکرد گیاه به خطر بیافتد. تجمع نیترات در سبزیجات نیز می‌تواند به عنوان یک استراتژی برای کاهش نیترات اضافی استفاده شود. سبزیجات به عنوان انباشتگر نیترات دسته-بندی می‌شوند و مشتقات نیترات شامل نیتريت و نیتروزامین از مهمترین فاکتورهای خطرناک برای سلامتی بشر هستند.

اظهارات پایانی و چشم‌انداز آینده

سطوحی که کلر در گیاهان (عمدتاً به عنوان عنصر پرمصرف) تجمع پیدا می‌کند و اثر آن در بهبود عملکرد گیاه، منجر شده است تا کلر به عنوان یک عنصر ماکرومفید شناخته شود. گیاهان تنباکو با سطح پرمصرف کلر کارایی بیشتری در مصرف آب، نیتروژن و "کربن/انرژی" نشان داده‌اند. بهبود معنی‌دار کارایی مصرف آب^{۱۴} از تحریک رشد و کاهش مصرف آب بطور همزمان نتیجه می‌شود.

^{۱۳} آپسیزیک اسید

^{۱۴} WUE

برخلاف اینکه کلر روابط آبی و تعادل آبی را بهبود می‌دهد، اثر خاص کلر بر هدایت هیدرولیکی ریشه موضوعی است که همچنان حل نشده باقی مانده است. افزایش یا تشدید WUE از طریق تغذیه کلر در سطح عنصر پرمصرف احتمالاً توانایی گیاه را به مقاومت در شرایط کم آبی افزایش می‌دهد، فرضیه‌ای که باید مورد بررسی قرار گیرد. اگرچه افزایش وزن خشک گیاهان تیمار شده با کلر بطور واضح بر افزایش کارآیی مصرف نیتروژن^{۱۵} اشاره می‌کند، اما شواهد مستقیم برای تأیید اینکه کلر موجب بهبود NUE می‌شود، لازم است. این مطلب نیز باید روشن شود که آیا NUE بوسیله بخش‌بندی کارآمد نیترات بهبود می‌یابد یا نتیجه جایگزینی نیترات توسط کلر در واکوئل است. اثر مثبت کلر بر کارکرد کلروپلاست ممکن است به خاطر فاکتورهای مختلفی مانند تنظیم انبساط تیلاکوئیدی، بهبود انتقال الکترون فتوسنتز و مکانیسم‌های حفاظت نوری باشد. برای روشن شدن این مطلب که آیا کلر بیورژنر کلروپلاست را تحریک می‌کند یا خیر نیاز به تحقیقات بیشتر است. کلر طویل شدن سلولی را بواسطه تنظیم بهتر و ارزاتر اسمز و توانایی تولید تورژسانس تحریک می‌کند، ظاهراً به همین دلیل است که اُکسین ورود کلر به سلول‌های گیاهی را تحریک می‌کند و اینکه ABA بر این فرآیند اثر معکوس دارد.

جدول ۱- عمده پیشرفت‌های تحقیقات در ارتباط با عملکرد کلر در گیاهان

سال	عملکرد کلر
۱۹۴۶	<ul style="list-style-type: none"> • کلر برای فعالیت فتوشیمیایی در کلروپلاست‌های شسته شده مورد نیاز است. • کلر به عنوان عنصر غذایی ریزمغذی مورد بحث می‌باشد.
۱۹۵۴	• معرفی کلر به عنوان ریزمغذی ضروری در گیاهان گوجه‌فرنگی
۱۹۵۶	• معرفی کلر به عنوان ریزمغذی ضروری در سایر گونه‌های گیاهی
۱۹۶۳	• کلر برای آزادسازی اکسیژن در فتوسیستم II ضروری است.
۱۹۷۷	<ul style="list-style-type: none"> • نیاز گیاه به کلر به فتوسنتز محدود نمی‌شود. • همچنین کلر برای نسبت تقسیم سلولی مناسب در برگ‌ها ضروری است.

^{۱۵} NUE

عملکرد کلر	سال
• کلر فعالیت برخی پروتئین ها را تنظیم می کند.	۱۹۸۰
• برخی گونه های گیاهی به کلر بیش از سطح عنصر ریزمغذی نیاز دارند.	۱۹۸۷
• کلر پیوندهای محکم بیشتری با صفحات هیدراته دارد.	۱۹۹۱
• موقعیت و نقش کلر در آزادسازی اکسیژن در فتوسیستم II	۲۰۰۹
• کلر برای طول شدن سلولی مناسب مورد نیاز است.	۲۰۱۴
• بروز کمبود کلر در خاک های کشاورزی در گونه های گیاهی مربوطه	۲۰۱۵
• کلر به طور ویژه تنظیم اسمزی، تعادل آب و تورژسانس را بهبود می دهد.	۲۰۱۶
• کلر به عنوان یک عنصر پرمصرف سودمند پیشنهاد می شود.	
• هموستازی کلر کلروپلاست، انتقال الکترون و مکانیسم های حفاظت نوری فتوسنتز را تنظیم می کند.	۲۰۱۶
• کلر به عنوان یک عنصر پرمصرف مفید کارآیی مصرف آب را از طریق کاهش هدایت روزنه ها و افزایش پخشیدگی مزوفیل به CO ₂ بهبود می دهد.	۲۰۱۹

AGRIPARS
Optimizing Crop Nutrition

منابع:

1. Broyer, T.C.; Carlton, A.B.; Johnson, C.M.; Stout, P.R. Chlorine—A micronutrient element for higher plants. *Plant Physiol.* ۱۹۵۴, ۲۹, ۵۲۶-۵۳۲.
2. Franco-Navarro, J.D.; Brumos, J.; Rosales, M.A.; Cubero-Font, P.; Talon, M.; Colmenero-Flores, J.M. Chloride regulates leaf cell size and water relations in tobacco plants. *J. Exp. Bot.* ۲۰۱۶, ۶۷, ۸۷۳-۸۹۱.
3. Raven, J.A. Chloride: Essential micronutrient and multifunctional beneficial ion. *J. Exp. Bot.* 2017, 68, 359-367.

- ξ. Wege, S.; Gilliam, M.; Henderson, S.W. Chloride: Not simply a 'cheap osmoticum', but a beneficial plant macronutrient. *J. Exp. Bot.* 2017, 68, 3057–3069.
- ο. Xu, G.H.; Magen, H.; Tarchitzky, J.; Kafkafi, U. *Advances in chloride nutrition of plants. In Advances in Agronomy; Sparks, D.L., Ed.; Academic Press: San Diego, CA, USA, 2000; Volume 68, pp. 97–150.*
7. Flowers, T.J. Chloride as a nutrient and as an osmoticum B. *In Advances in Plant Nutrition; Tinker, P.B., Läuchli, A., Eds.; Praeger: New York, NY, USA, 1988; pp. 55–78.*
- Υ. White, P.J.; Broadley, M.R. Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: A review. *Ann. Bot.* 2001, 88, 967–988.
- Λ. Li, B.; Tester, M.; Gilliam, M. Chloride on the move. *Trends Plant Sci.* 2017, 22, 236–248.
9. Geilfus, C.M. Chloride in soil: From nutrient to soil pollutant. *Environ. Exp. Bot.* 2019, 157, 299–309.
10. Geilfus, C.M. Review on the significance of chlorine for crop yield and quality. *Plant Sci.* 2018, 270, 114–122.
11. Geilfus, C.M. Chloride: From Nutrient to Toxicant. *Plant Cell Physiol.* 2018, 59, 877–886.
12. Marschner, H. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd ed.*; Academic Press: London, UK, 2012.
13. Kawakami, K.; Umena, Y.; Kamiya, N.; Shen, J.R. Location of chloride and its possible functions in oxygen-evolving photosystem II revealed by X-ray crystallography. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2009, 106, 10577–10572.
14. Rognes, S.E. Anion regulation of lupin asparagine synthetase—Chloride activation of the glutamine-utilizing reactions. *Phytochemistry* 1980, 19, 2287–2293.
15. Churchill, K.A.; Sze, H. Anion-sensitive, h⁺-pumping atpase of oat roots—Direct effects of cl⁻, no₃⁻, and a disulfonic stilbene. *Plant Physiol.* 1984, 76, 490–497.
16. Metzler, D.E. *Biochemistry: The Chemical Reactions of Living Cells*; Academic Press: New York, NY, USA, 1979.
17. Johnson, C.M.; Stout, P.R.; Broyer, T.C.; Carlton, A.B. Comparative chlorine requirements of different plant species. *Plant Soil* 1957, 8, 337–353.
18. Brumós, J.; TalÓN, M.; Bouhlal, R.Y.M.; Colmenero-Flores, J.M. Cl⁻ homeostasis in includer and excluder citrus rootstocks: Transport mechanisms and identification of candidate genes. *Plant Cell Environ.* 2010, 33, 2012–2027
19. Rosales, M.A.; Vázquez-Rodríguez, A.; Franco-Navarro, J.D.; Cubero-Font, P.; Colmenero-Flores, J.M. Chloride Nutrition Improves Water Use Efficiency and Drought Tolerance in Tomato Plants. *In La Nutrición Mineral de las Plantas Como Base de Una Agricultura Sostenible; Bonilla, I., Hernández, L.E., Lucena, J.J., Eds.; Universidad Autónoma de Madrid: Madrid, Spain, 2012; pp. 314–320.*