گل و گیاهان زینتی (۱۴۰۲)، ۸(۱): ۸۹-۱۰۴
مقاله پژوهشی

اثر غلظت‌های مختلف نیتروژن و پتاسیم بر شاخص‌های مورفو-فیزیولوژیک کلم زینتی

مسعود قاسمی قهساره*، نجمه فتاحی دهکردی

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

mghasemi1352@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۸

چکیده

کلم‌های زینتی (*Brassica oleracea* '*acephalla*') از مهمترین گیاهان فصل پاییز هستند که به دلیل تحمل سرما و یخبندان شاید بتوان گفت تنها گیاهان زینت‌بخش باغچه‌های فضای سبز در فصل سرما هستند. تغذیه و دما از عوامل مهم موثر بر کیفیت گیاه به‌ویژه از نظر ارتفاع، اندازه و رنگ تاج، اندازه و تعداد برگ است. برای بررسی تأثیر برهمکنش غلظت‌های مختلف کودهای نیتروژن و پتاسیم بر شاخص‌های مورفو-فیزیولوژیک کلم زینتی، آزمایشی در هوای آزاد و به صورت گلدانی در بستر خاک انجام شد. تیمارها شامل برهمکنش غلظت‌های ۱۲۵، ۱۷۵ و ۲۲۵ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن و پتاسیم (از منبع اوره و سولفات پتاسیم K_2SO_4) و آب مقطر (به عنوان شاهد) بود. نتایج نشان داد که تیمارها بر تمام شاخص‌های اندازه‌گیری شده اثر معنی‌دار داشتند. بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی مربوط به تیمار N:K برابر ۱۷۵:۱۷۵، بیشترین تعداد برگ در تیمار ۱۲۵:۱۲۵، بیشترین قطر تاج در تیمار ۲۲۵:۲۲۵ و بیشترین محتوای کلروفیل برگ مربوط به نیتروژن ۱۷۵ میلی‌گرم بر لیتر همراه با غلظت‌های مختلف پتاسیم، قند محلول در تیمارهای حاوی ۱۷۵ و ۲۲۵ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن و پتاسیم و پرولین در تیمار ۲۲۵:۲۲۵ حاصل شد. بیشترین مقدار آنتوسیانین مربوط به شاهد و بین تیمارهای کوددهی مربوط به سطح ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر پتاسیم بود. بر اساس این مشاهدات و همچنین با توجه به اهمیت شاخص قطر تاج در کلم‌زینتی، می‌توان مقدار ۱۷۵ تا ۲۲۵ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن همراه با ۲۲۵ میلی‌گرم بر لیتر پتاسیم را برای رشد مطلوب این گیاه پیشنهاد کرد.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، قطر تاج، کلروفیل، کلم، کوددهی.

مقدمه

کلم‌های زینتی (*Brassica oleracea* '*acephalla*') از مهمترین گیاهان فصل پاییز هستند که به دلیل تحمل سرما و یخبندان شاید بتوان گفت تنها گیاهان زینت‌بخش باغچه‌های فضای سبز در فصل سرما هستند. گوناگونی زیادی از نظر فرم، رنگ و ارتفاع دارند که انواع کوتاه آن به عنوان گیاه بستری یا گلدانی و انواع پابلند آن به عنوان گیاه بریدنی در دسته گل استفاده می‌شوند. از ویژگی‌های این گیاه که باعث جذابیت آن می‌شود چیدمان رزمانند، رنگ‌بندی و تضاد رنگ خاص و گوناگون برگ‌ها در قسمت‌های مختلف تاج آن است که نبود گل‌های رنگارنگ در فصل زمستان را جبران می‌کند (Ghasemi

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.1.89]

Ghehsareh & Kafi, 2016). تغذیه و دما از عوامل مهم موثر بر کیفیت این گیاه است، به‌طوری که برای کاهش قد کشیدن گیاهان باید کود آغازگر و آبیاری کمتر شود. همچنین برای رنگ‌اندازی مطلوب آنها نیاز به دمای شبانه خنک و مقدار کود کم است و اگر مقدار کود تا انتهای چرخه زندگی گیاه زیاد باشد رنگ اندازی مطلوب برگ‌ها رخ نخواهد داد (Takki Seed, 2017) از سوی دیگر با توجه به اینکه بخش زینتی کلم، تاج تشکیل شده از برگ‌های گیاه است، اندازه تاج تابع اندازه و تعداد برگ‌ها است که به مقدار زیاد تحت تاثیر تغذیه است و تغذیه ضعیف باعث تاج کوچک‌تر می‌شود. پیشنهاد شده است که مصرف کود کافی پیش از کاشت و سپس به صورت سرک کلید رشد مطلوب این گیاه است (Whipker, 1996). همچنین حفظ برگ‌ها در تنش یخبندان زمستان اهمیت دارد.

در پژوهشی که توسط Marquardt و Schlemmer (1996) انجام گردیده کوددهی با نیتروژن به غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر برای کلم زینتی پیشنهاد شده است. پژوهشگران دیگر مصرف نیتروژن به میزان ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر را در مرحله تولید نشاء و سپس ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر را پس از انتقال نشاء پیشنهاد دادند (McAvoy, 1994; Luczai, 1992). چون کوددهی بیش از حد مانع رنگ اندازی می‌شود، این پژوهشگران توصیه کردند که کوددهی باید در مرحله رنگ‌اندازی برگ‌ها، که در دمای ۱۳ درجه سلسیوس یا کمتر رخ می‌دهد، کاهش یابد یا متوقف شود. از سوی دیگر به دلیل رشد فعال گیاه در دماهای خنک، برخی پژوهشگران توقف کوددهی را نامطلوب دانسته‌اند (Gibson & Whipker, 2000-2003). رنگ‌اندازی برای فروش این گیاه مهم است اما توقف یا کاهش کوددهی ممکن است باعث ظهور علائم کمبود و ریزش برگ‌های پایینی گیاه شود (Whipker *et al*., 1998). پژوهشگران در بررسی اثر نسبت‌های مختلف نیتروژن به پتاسیم در رشد کلم زینتی و اثرات تداوم یا توقف کوددهی در مرحله رنگ‌اندازی، نشان دادند که کوددهی با ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن و ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پتاسیم به تولید گیاهان با کیفیت بالا منجر گردید. همچنین غلظت‌های نیتروژن تا ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر روی رنگ‌اندازی برگ‌ها اثر منفی نداشت اما کاهش کوددهی پیش از رنگ‌اندازی باعث افت سریع غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ‌های پایینی و ظهور علائم کمبود و ریزش این برگ‌ها شد (Gibson & Whipker, 2003).

نیتروژن مهمترین عنصر لازم برای رشد رویشی است و در کمبود آن رشد ریشه و شاخساره کم می‌شود و برگ گیاهان فقیر از نیتروژن، کوتاه، کوچک و سبز روشن است (Khoshgoftarmanesh, 2014). در بیشتر گیاهان زینتی پرورش داده شده در گلخانه‌ها، مصرف بیش از حد نیتروژن منجر به کاهش کیفیت محصول می‌گردد (Glass, 2003; MacDonald *et al*., 2013). از سوی دیگر مصرف زیاد کود منجر به آلودگی محیط زیست و زیان اقتصادی می‌شود (Benincasa *et al*., 2011). گیاهان مختلف نیاز کوددهی متفاوتی دارند و مشخص نمودن غلظت بهینه کود، افزون بر آلودگی کمتر محیط زیست باعث تولید گیاهان با کیفیت بالاتر می‌شود (Hirsch & Sussman, 1999; Sorgona *et al*., 2006). رنگ‌بندی زیبای کلم‌های زینتی که دارای رنگ قرمز در تاج هستند وابستگی زیادی به محتوای کلروفیل و آنتوسیانین دارد (McDougall *et al*., 2007). بسیاری از عوامل محیطی مانند نور و دما و در دسترس بودن مواد مغذی، تجمع آنتوسیانین‌ها را در گیاهان کنترل می‌کنند (Piccaglia *et al*., 2002). تشکیل رنگ قرمز با افزودن پتاسیم به رژیم غذایی کلم قرمز افزایش می‌یابد، در حالی که افزودن نیتروژن و فسفر باعث کاهش محتوای رنگدانه می‌شود (Blank, 1947).

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.1.89]

به‌منظور تعیین حد بهینه مصرف نیتروژن در پنج رقم کلم زینتی، Cardarelli و همکاران (۲۰۱۵) غلظت‌های مختلف نیترات (۰.۵، ۲.۵، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار) را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که بدون توجه به نوع رقم، کوددهی تا ۱۰ میلی‌مولار نیترات باعث تولید با کیفیت‌ترین گیاهان شد. در پژوهش دیگری گزارش شده که برهمکنش نیتروژن و پتاسیم اثر معنی‌داری بر رشد کلم زینتی رقم 'Osaka white' نداشته و با افزایش نیتروژن تا سطح ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر رشد اندام هوایی افزایش یافته است (Gibson & Whipker, 2001).

متأسفانه در ایران توجه خاصی به کوددهی این گیاه با ارزش نمی‌شود و به همین علت اغلب کیفیت مطلوب حاصل نشده، تاج گیاه به اندازه واقعی خود نرسیده و نیز به علت ریزش برگ‌های پایینی در مدت کوتاهی زیبایی خود را از دست می‌دهد. از سوی دیگر با وجود پژوهش‌های اشاره شده در بالا تاکنون در مورد اثر برهمکنش نیتروژن و پتاسیم بر رشد، مقدار کلروفیل و آنتوسیانین برگ و شاخص‌های تحمل سرما (محتوای پرولین و قند محلول) در کلم گزارشی ارایه نشده است. بنابراین در این آزمایش اثر غلظت‌های مختلف نیتروژن و پتاسیم بر شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان کلم زینتی قرار گرفته در معرض سرما بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۶ در مجموعه گلخانه‌های پژوهشی دانشگاه شهرکرد با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۹ درجه شرقی با ارتفاع ۲۱۲۵ از سطح دریا واقع در کیلومتر ۲ جاده شهرکرد-سامان اجرا گردید. بذرهای کلم زینتی رقم 'Coral F1 Queen' از شرکت Takii Seed در اواسط تیرماه در گلخانه با دمای ۳ ± ۲۵ درجه سلسیوس در روز و ۳ ± ۲۰ درجه در شب و با رطوبت نسبی ۵ ± ۶۰٪ کشت شد و نشاءها در مرحله‌ی ۴ برگی در گلدان‌های بزرگ به قطر ۲۰ و ارتفاع ۳۰ سانتی متر پر شده از خاک مزرعه (جدول ۱) بازکاشت و پس از استقرار به هوای آزاد منتقل شدند. به منظور جلوگیری از اثر بارندگی‌ها، گیاهان زیر پوشش پلی‌اتیلنی در ارتفاع ۲ متری بالای گیاهان با استفاده از کمان‌های فلزی که دو انتهای آن باز بود قرار گرفتند. دمای محیط در طول مدت آزمایش در فصل سرما در سردترین و گرم‌ترین ساعات بین ۹- تا ۱۰ درجه سلسیوس متغیر بود.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل همراه با شاهد، با نُه تیمار و چهار تکرار انجام شد. بر اساس نتایج پژوهش‌های پیشین ذکر شده در قسمت مقدمه، تیمارها شامل سه سطح نیتروژن (۱۲۵، ۱۷۵ و ۲۲۵ میلی‌گرم در لیتر) از منبع اوره، سه سطح پتاسیم (۱۲۵، ۱۷۵ و ۲۲۵ میلی‌گرم در لیتر) از منبع سولفات پتاسیم و آب مقطر (به عنوان شاهد) در نظر گرفته شد. عملیات کوددهی به‌صورت کودآبیاری انجام شد. در ابتدای آزمایش در هر نوبت ۵۰۰ میلی‌لیتر و سپس متناسب با نیاز آبی و رشد گیاه تا ۱/۵ لیتر محلول (در ماه اول ۵۰۰ میلی‌لیتر، در ماه دوم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر و پس از آن ۱۵۰۰ میلی‌لیتر برای هر گلدان) با فاصله دو روز یک‌بار در هر گلدان استفاده شد. هر ۲ هفته یک‌بار تا پایان آزمایش آبشویی بستر به منظور اجتناب از تجمع نمک انجام شد.

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.1.89]

جدول ۱- آنالیز خاک مورد استفاده به عنوان بستر کشت.

Table 1- Analysis of the soil used as a growing medium.

رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	بافت خاک Soil texture	نیتروژن N (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)	هدایت الکتریکی EC (dS m)	اسیدیته pH
26.4	24	49.6	Sandy clay loam	0.035	19.7	174	0.55	7.74

ثبت، نمونه‌برداری و آنالیز

در پایان آزمایش یعنی ۱۵ آذر ماه پس از آن‌که کلم‌ها کاملا گسترش یافته بودند اندازه‌گیری‌ها انجام شد. ارتفاع گیاه از سطح بستر تا جوانه انتهایی با خط کش و بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری و تعداد برگ‌ها شمارش شد. پس از برداشت اندام هوایی، گلدان‌ها به آرامی واژگون و ریشه‌ها با دقت از خاک موجود در گلدان‌ها جدا شدند. سپس ریشه‌های جدا شده را در تشت پر از آب و به آرامی شستشو داده و پس از رفع رطوبت سطحی وزن شدند. پس از توزین وزن تر اندام هوایی و ریشه، نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۵ روز خشک گردیدند و وزن خشک اندام هوایی و ریشه اندازه‌گیری شد.

عصاره برگ تازه با استن ۸۰٪ استخراج و پس از خواندن مقدار جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ٦٤٦، ٦٦٣ و ٤٧٠ نانومتر با استفاده از رابطه‌های (۱ تا ۳) مقدار کلروفیل‌های *a*، *b* و کلروفیل کل بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه محاسبه شد (Lichtenthaler & Wellburn, 1983):

$$\text{Chl } a \text{ (mg/g fw)} = (12.21 \times A663) - (2.81 \times A646) \times V/1000 \times W \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\text{Chl } b \text{ (mg/g fw)} = (20.13 \times A646) - (5.03 \times A663) \times V/1000 \times W \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\text{TChl} = (\text{mg/g fw}) = \text{chla} + \text{chlb} \quad \text{رابطه (۳)}$$

آنتوسیانین کل از برگ‌های قسمت قرمز وسط گیاه با استفاده از متانول اسیدی (متانول همرا با ۱٪ HCl) استخراج شد. برای این منظور ۰/۵ گرم برگ در نیتروژن مایع پودر شد و به درون یک لوله حاوی ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی منتقل شده و پس از یک شب نگهداری در دمای اتاق در ٤۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد و چگالی نوری در طول موج‌های ۵۳۰ و ٦۵۷ نانومتر به روش اسپکتروفتومتری تعیین شد. سرانجام، کل آنتوسیانین با رابطه (٤) محاسبه شد (Jin *et al*,. 2018):

$$Q = [(A530 - (0.25 \times A657)]/g\ FW \quad \text{رابطه (٤)}$$

که Q بیانگر آنتوسیانین کل، A530 جذب در ۵۳۰ نانومتر، A657 جذب در ٦۵۷ نانومتر، و FW وزن تازه برگ (گرم) است.

مقدار قند محلول به روش آنترون اسیدی تعیین شد (Maness, 2010). برای این منظور مقدار ۰/۵ گرم از نمونه برگ تازه با نیتروژن مایع پودر شد و با ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰٪ به فالکون ۱۰ میلی‌لیتری منتقل و به مدت ۱۰ دقیقه در ٤۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. به یک میلی‌لیتر از عصاره، ٤ میلی‌لیتر معرف آنترون اسیدی (حل کردن ۰/۲ گرم آنترون در ۱۰۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۷۲٪ سرد) افزوده و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم (۱۰۰ درجه سلسیوس) نگهداری و سپس نمونه‌ها

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.1.89]

به سرعت روی یخ سرد شدند. در پایان جذب رنگ آبی نمونه‌ها در طول موج ٦۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر خوانده شد و مقدار قند با استفاده از نمودار استاندارد بر حسب میلی‌گرم بر لیتر تعیین شد.

برای اندازه‌گیری پرولین ۰/۵ گرم از نمونه برگ به همراه ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوساسیلیک ٪ ۳ در هاون ساییده و آمیخته حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در ٤۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. به ۲ میلی‌لیتر از این محلول، ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال و ۲ میلی‌لیتر اسید نین‌هیدرین اضافه و به مدت یک ساعت در حمام بن ماری در دمای ۱۰۰ درجه قرار داده شد. سپس ٤ میلی‌لیتر تولوئن به نمونه اضافه و پس از ورتکس به مدت ۲۰ ثانیه میزان جذب رونشین در ۵۲۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. میزان پرولین بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر از نمودار استاندارد تعیین شد (Abrahám *et al.*, 2010).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹ (۲۰۰۲) انجام، و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵٪ مقایسه شدند. همبستگی شاخص‌های اندازه‌گیری شده بر اساس ضریب همبستگی پیرسون با استفاده از نرم‌افزار اکسل محاسبه و جدول آن رسم شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارهای مختلف بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده اثر معنی‌دار داشتند. محتوای آنتوسیانین برگ تحت تاثیر نیتروژن و برهمکنش آن با پتاسیم قرار نگرفت، اما پتاسیم روی آن در سطح احتمال ۵٪ اثر داشت (جدول ۲). بیشترین وزن تر اندام هوایی (٤۷۹/۵ گرم) مربوط به نسبت نیتروژن به پتاسیم برابر ۱۷۵:۱۲۵ بود که با نسبت‌های ۱۲۵:۱۲۵، ۱۷۵:۱۷۵، ۱۷۵:۲۲۵ و ۲۲۵:۲۲۵ در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌دار نداشت. با افزایش نیتروژن تا سطح ۱۷۵ میلی‌گرم بر لیتر، وزن تر افزایش و سپس کاهش یافت. تیمارهای کوددهی، وزن تر را نسبت به شاهد بیش از ۱۰۰٪ افزایش دادند. در سطوح پایین‌تر نیتروژن، با افزایش پتاسیم وزن تر کاهش یافت اما در بالاترین سطح نیتروژن، با افزایش پتاسیم وزن تر افزایش یافت. در سطح متوسط نیتروژن (۱۷۵ میلی‌گرم بر لیتر) تفاوتی بین سطوح مختلف پتاسیم وجود نداشت (جدول ۳).

بیشترین وزن خشک اندام هوایی در بالاترین سطح هر دو نیتروژن و پتاسیم (۲۲۵:۲۲۵) حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با نسبت‌های ۱۷۵:۱۷۵ و ۱۲۵:۱۲۵ نداشت که نشان می‌دهد تعادل دو عنصر باعث افزایش وزن خشک شده است. کمترین وزن خشک مربوط به شاهد بود. در پایین‌ترین سطح نیتروژن، با افزایش پتاسیم وزن خشک افزایش یافت (جدول ۳).

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.1.89]

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر نسبت‌های مختلف نیتروژن به پتاسیم بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک کلم زینتی 'Coral F1 Queen'.

Table 2- The variance analysis of the effect of different ratios of nitrogen to potassium on the morphophysiological indices of ornamental kale 'Coral F1 Queen'.

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares								
		وزن تر اندام هوایی SFW	وزن خشک اندام هوایی SDW	طول ساقه SL	تعداد برگ Leaf No.	قطر تاج Canopy D.	قند محلول برگ LSS	پرولین Proline	کلرفیل کل TChl	آنتوسیانین Anth
تکرار Rep	3	619.20	21.90	1.31	1.23	9.41	1.23	1.11	0.007	0.57
تیمار Treat	9	26058.71**	624.15**	6.09**	96.84**	18.15**	72.38**	3.49**	0.091**	0.88^{ns}
نیتروژن N	2	6025.44**	13.47^{ns}	2.86^{ns}	71.03**	7.38^{ns}	3.49**	4.80**	0.04**	0.54^{ns}
پتاسیم K	2	676.86^{ns}	10.22^{ns}	0.26^{ns}	57.03**	10.76^{ns}	4.87**	1.50^{ns}	0.02^{ns}	1.30*
پتاسیم× نیتروژن N*K	4	2258.28**	223.49**	7.88**	10.11*	11.56*	23.91**	1.30^{ns}	0.05**	0.10^{ns}
شاهد در مقابل سایر Control vs. Others	1	5856.40**	371.99**	4.78*	195.06**	2.58^{ns}	0.31^{ns}	0.06^{ns}	0.033*	0.57^{ns}
خطا Error	27	365.3481	5.73	1.03	2.82	3.43	6.08	0.97	0.146	0.51
CV (%)		4.53	3.79	7.62	4.21	4.21	20.88	19.18	7.98	22.48

LSS: Leaf soluble sugar, TChl: Total chlorophyll, Anth Q: Anthocyanin, Shoot Fresh Weight, SDW: Shoot Dry Weight, SL: Stem Length, Leaf No: Leaf number. Canopy D: Canopy diameter. **, * and ns indicate significance at 1% and 5% level and non-significance, respectively.

، * و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح ۱ و ۵٪ و نبود معنی‌داری.., * and ns indicate significance at 1% and 5% level and non-significance, respectively.

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.1.89]

بیشترین تعداد برگ در نسبت ۱۲۵:۱۲۵ و کمترین آن در شاهد مشاهده شد. اما در بین تیمارهای کوددهی افزایش نیتروژن و پتاسیم باعث افزایش تعداد برگ نشد. بیشترین طول ساقه مربوط به نسبت‌های ۱۲۵:۱۷۵، ۱۷۵:۱۷۵ و ۲۲۵:۲۲۵ بود که نشان می‌دهد مصرف نیتروژن تا سطح ۱۷۵ و پتاسیم تا سطح ۲۲۵ میلی‌گرم بر لیتر طول ساقه را افزایش داده است. بیشترین قطر تاج گیاهان (۴۸/۲۵ سانتی‌متر) در بالاترین مقدار هر دو کود (نسبت ۲۲۵:۲۲۵) و کمترین آن (۳۹/۷۵ سانتی‌متر) در شاهد به‌دست آمد. در بالاترین سطح نیتروژن با افزایش پتاسیم قطر تاج افزایش یافت. کاربرد نیتروژن و پتاسیم در کمترین مقدار بیش از ۱۰٪ و در بیشترین مقدار حدود ۲۰٪ قطر تاج را نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳).

جدول ۳- اثر برهمکنش غلظت‌های مختلف نیتروژن و پتاسیم بر شاخص‌های مورفولوژیکی کلم زینتی 'Coral F1 Queen'.

Table 3- The interaction effect of different concentrations of nitrogen and potassium on the morphological indices of ornamental kale 'Coral F1 Queen'.

قطر تاج Canopy D. (cm)	تعداد برگ Leaf No	طول ساقه SL (cm)	وزن خشک اندام هوایی SDW (g)	وزن تر اندام هوایی SFW (g)	پتاسیم (میلی‌گرم بر لیتر) K (mg l^{-1})	نیتروژن (میلی‌گرم بر لیتر) N (mg l^{-1})
43.25^{b}	48.00^{a}	12.25^{cd}	80.62^{a}	457.50^{ab}	125	
44.00^{b}	44.25^{b}	14.38^{ab}	73.30^{bc}	416.75^{cd}	175	125
43.50^{b}	40.25^{d}	14.63^{a}	67.70^{d}	402.50^{d}	225	
44.88^{b}	45.00^{b}	13.13^{bc}	71.01^{cd}	479.75^{a}	125	
45.00^{b}	43.00^{bc}	14.00^{ab}	80.85^{a}	463.75^{ab}	175	175
44.75^{b}	43.75^{b}	14.63^{a}	75.79^{b}	465.75^{a}	225	
42.75^{b}	37.75^{e}	11.63^{d}	70.39^{cd}	423.75^{cd}	125	
44.00^{b}	41.00^{cd}	13.13^{bc}	72.61^{bc}	436.25^{bc}	175	225
48.25^{a}	40.75^{cd}	14.25^{ab}	83.37^{a}	463.25^{ab}	225	
39.75^{c}	30.00^{f}	11.38^{d}	39.03^{e}	202.75^{e}	شاهد Control	
2.69	2.44	1.48	3.47	27.73	LSD	

N: Nitrogen, K: potassium, SFW: Shoot Fresh Weight, SDW: Shoot Dry Weight, SL: Stem Length, Leaf No: Leaf Number, Canopy D: Canopy diameter.

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD هستند.

In each column, means with the same letters are not significantly different at $P \leq 5\%$ according to LSD test.

بیشترین مقدار قند محلول برگ (LSS) (۱۷۵ میلی‌گرم بر گرم) مربوط به تیمار ۲۲۵:۱۷۵ بود که تفاوت معنی‌داری با شاهد و نسبت‌های ۱۷۵:۱۷۵، ۱۷۵:۲۲۵ و ۲۲۵:۱۲۵ نداشت. کمترین قند محلول مربوط به تیمارهای ۱۲۵:۲۲۵، ۱۷۵:۲۲۵ و ۲۲۵:۲۲۵ بود. در سطح ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن، با افزایش مقدار پتاسیم مقدار قند محلول برگ کاهش یافت اما در سطح ۱۷۵ میلی‌گرم بر

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.1.89]

لیتر نیتروژن، با افزایش مصرف پتاسیم تا سطح ۱۷۵ مقدار قند افزایش یافت. در سطح ۲۲۵ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن نیز با افزایش پتاسیم تا سطح ۱۷۵ میلی‌گرم بر لیتر محتوای قند برگ افزایش و پس از آن کاهش یافت (جدول ٤).

بیشترین مقدار پرولین برگ در نسبت N:K برابر ۲۲۵:۲۲۵ وجود داشت که تفاوت معنی‌داری با نسبت ۱۷۵:۲۲۵ نداشت. در سطوح مختلف پتاسیم، با افزایش نیتروژن مقدار پرولین افزایش یافت. اما در سطوح متوسط و بالای نیتروژن، با افزایش پتاسیم مقدار پرولین افزایش ولی در کمترین سطح نیتروژن (۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر) با افزایش پتاسیم مقدار پرولین کاهش یافت. بیشترین مقدار کلروفیل کل برگ در نسبت‌های ۱۲۵:۲۲۵، ۱۷۵:۲۲۵و ۲۲۵:۱۲۵ مشاهده شد که نشان می‌دهد همگام با افزایش مقدار نیتروژن تا سطح ۱۷۵ میلی‌گرم بر لیتر، با افزایش پتاسیم کلروفیل افزایش اما در سطح ۲۲۵ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن، با افزایش پتاسیم کلروفیل کاهش یافته است. کمترین مقدار کلروفیل در نمونه‌های شاهد و تیمارهای ۱۲۵:۱۲۵، ۲۲۵:۱۷۵ و ۲۲۵:۲۲۵ حاصل شد (جدول ٤).

جدول ٤- اثر برهمکنش غلظت‌های مختلف نیتروژن و پتاسیم بر شاخص‌های فیزیولوژیکی کلم زینتی 'Coral F1 Queen'.

Table 4- The interaction effect of different concentrations of nitrogen and potassium on the physiological indices of ornamental kale 'Coral F1 Queen'.

آنتوسیانین Anth Q ((A530 – (0.25 × A657)) /g FW)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم) TChl (mg g^{-1} FW)	پرولین (میلی‌گرم بر گرم) Prolin (mg g^{-1} FW)	قند محلول (میلی‌گرم بر گرم) LSS (mg g^{-1} FW)	پتاسیم (میلی‌گرم بر لیتر) K (mg l^{-1})	نیتروژن (میلی‌گرم بر لیتر) N (mg l^{-1})
3.54^{ab}	0.84^{c}	5.02bc	12.08^{bc}	125	
3.49^{ab}	0.91^{bc}	4.63^{b-d}	10.93^{c}	175	125
2.75^{b}	1.06^{a}	4.43^{cd}	5.67^{d}	225	
3.17^{ab}	0.99^{ab}	4.70^{b-d}	5.80^{d}	125	
2.59^{b}	1.01^{ab}	5.41^{a-c}	14.60^{ab}	175	175
2.77^{b}	1.08^{a}	5.90^{ab}	14.18^{a-c}	225	
3.31^{ab}	1.06^{a}	5.29^{bc}	14.90^{ab}	125	
2. 78^{b}	0.85^{c}	5.82^{a-c}	17.45^{a}	175	225
3.27^{ab}	0.84^{c}	6.77^{a}	7.21^{d}	225	
4.11^{a}	0.59^{d}	3.39^{d}	15.32^{ab}	شاهد Control	
1.04	0.11	1.43	3.58	LSD	

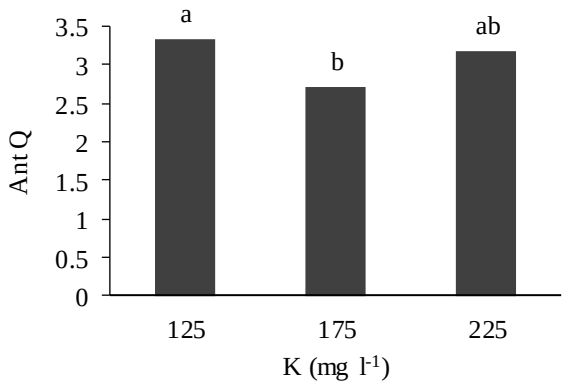
N: Nitrogen, K: potassium, LSS: Leaf soluble sugar, TChl: Total chlorophyll, AnthQ: Anthocyanin.

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ٥٪ با آزمون LSD هستند.

In each column, means with the same letters are not significantly different at $P \leq 5\%$ according to LSD test.

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.1.89]

از نظر محتوای آنتوسیانین برگ بیشترین مقدار در گیاهان شاهد مشاهده شد (جدول ۳). در بین تیمارهای کوددهی بیشترین مقدار آنتوسیانین مربوط به تیمار پتاسیم ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر بود (شکل ۱).



شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف پتاسیم بر محتوای آنتوسیانین (Anth Q=(A530 – (0.25 × A657)) /g FW)) برگ کلم زینتی 'Coral F1 Queen'. ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD هستند.

Figure 1. Effect of different concentrations of potassium on anthocyanin content (Anth Q = (A530 – (0.25 × A657)/ g FW)) of ornamental kale leaves 'Coral F1 Queen'. Columns with the same letters are not significantly different at *P*≤ 5% according to LSD test.

نتایج آنالیز همبستگی نشان داد شاخص مقدار قند محلول برگ با سایر شاخص‌های اندازه‌گیری شده رابطه منفی داشت. ضرایب همبستگی آنتوسیانین با شاخص‌های رشد رویشی نیز نشان داد مقدار آنتوسیانین با شاخص‌های رشد رویشی و محتوای کلروفیل و پرولین رابطه منفی داشت. برعکس این پدیده در همبستگی مقدار پرولین با شاخص‌های اندازه‌گیری شده مشاهده شد به‌طوری که مقدار پرولین با مقدار آنتوسیانین برگ رابطه منفی و با شاخص‌های رشد رویشی همبستگی مثبت داشت و ضرایب همبستگی بین مقدار پرولین و وزن تر و خشک شاخساره و قطر تاج معنی‌دار بود. ضرایب همبستگی مقدار کلروفیل با دیگر شاخص‌های اندازه‌گیری شده نشان داد که کلروفیل به‌طور معنی‌داری با وزن تر شاخساره همبستگی مثبت و با محتوای آنتوسیانین برگ همبستگی منفی داشت (جدول ۵).

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.1.89]

جدول ۵- ضرایب همبستگی پیرسون بین شاخص‌های مورفو-فیزیولوژیک کلم زینتی 'Coral F1 Queen' تحت برهمکنش غلظت‌های مختلف نیتروژن و پتاسیم.

Table 5- Pearson's correlation coefficients between morphological and physiological indicators of ornamental kale 'Coral F1 Queen' under the interaction of different concentrations of nitrogen and potassium.

	LSS	Proline	Tchl	AnthQ	SFW	SDW	SL	Leaf No.	Canopy D.
LSS	1.000								
Proline	0.018	1.000							
TChl	-0.245	0.357	1.000						
AnthQ	0.050	-0.533	-0.754**	1.000					
SFW	-0.280	0.727*	0.709*	-0.673*	1.000				
SDW	-0.214	0.796**	0.575	-0.598	0.943*	1.000			
SL	-0.434	0.429	0.512	-0.657*	0.517	0.540	1.000		
Leaf No.	-0.296	0.418	0.507	-0.442	0.862**	0.830**	0.470	1.000	
Canopy D.	-0.444	0.843**	0.398	-0.522	0.784**	0.823**	0.674*	0.556	1.000

LSS: Leaf soluble sugar, TChl: Total chlorophyll, Anth Q: Anthocyanin, SFW: Shoot Fresh Weight, SDW: Shoot Dry Weight, SL: Stem Length, Leaf No: Leaf Number. Canopy D: Canopy diameter.

** و * به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح ۱ و ۵٪.

** and * indicate significance at 1 and 5% level, respectively.

بحث

بهینه‌سازی مصرف کود نیتروژن برای تولید گیاهان زینتی با کیفیت بالا ضروری است (Wilson *et al.*, 2010). حد بهینه کود نیتروژن برای کلم سفید ۲۰۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار پیشنهاد شده است (Everaarts & De Moel, 1998). آزمایش ما نشان داد که با افزایش نیتروژن تا سطح ۱۷۵ میلی‌گرم بر لیتر، وزن تر و خشک افزایش و سپس کاهش یافت که با نتایج سایر پژوهشگران همسو است. در پژوهشی در کلم زینتی با افزایش مصرف نیتروژن از ۱۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر وزن خشک افزایش یافته است (Gibson & Whipker, 2003). همچنین در آزمایشی دیگری نشان داده‌اند که شاخص‌های رشد کلم زینتی به مقدار زیاد تحت تاثیر غلظت نیتروژن است. به عنوان مثال، تعداد برگ به‌طور خطی با افزایش غلظت نیتروژن افزایش یافته است در حالی که سطح برگ نهایی و وزن خشک اندام هوایی با افزایش غلظت نیتروژن تا ۱٤۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش، اما پس از آن ثابت شده و در ۲۸۰ میلی‌گرم بر لیتر به مصرف تجملی رسیده است (Cardarelli *et al.*, 2015). همچنین بیان شده است که مصرف نیتروژن در کلم به‌طور معمول باعث افزایش وزن تر می‌شود (Guttormsen, 1996). در این آزمایش در سطح پایین نیتروژن، با افزایش پتاسیم وزن تر کاهش یافت اما در سطوح بالاتر نیتروژن، با افزایش پتاسیم وزن تر افزایش یافت که نشان می‌دهد تعادل بین دو عنصر برای رشد گیاه ضروری است و برای موثر بودن پتاسیم، حداقلی از نیتروژن لازم است. بنابراین بر اساس شاخص وزن تر و خشک اندام هوایی می‌توان نسبت ۱۷۵:۱۷۵ را پیشنهاد کرد.

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.1.89]

مصرف نیتروژن و پتاسیم تا سطح ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر تعداد برگ را نسبت به شاهد حدود ۶۰٪ افزایش داد ولی این افزایش در سطوح بالاتر مشاهده نشد که با نتایج سایر پژوهشگران همسو است. در آزمایشی نشان دادند که بیشترین تعداد برگ در تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن حاصل شد و تفاوتی با مقدار ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن نداشت (Boroujerdnia & Ansari, 2007). مطالعه دیگری نشان داد که افزایش مصرف نیتروژن در اسفناج منجر به افزایش تعداد برگ می‌شود (Gülser, 2005). بنابراین با در نظر گرفتن هر دو شاخص وزن گیاه و تعداد برگ می‌توان نتیجه گرفت که سطوح نیتروژن و پتاسیم بیش از ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر از طریق افزایش اندازه برگ‌ها باعث افزایش وزن گیاهان شده است.

با مصرف نیتروژن و پتاسیم تا بالاترین سطح، قطر تاج افزایش یافت. همچنین نیتروژن تا سطح ۱۷۵ میلی‌گرم بر لیتر و پتاسیم تا سطح ۲۲۵ میلی‌گرم بر لیتر طول ساقه را افزایش داد. نتایج پژوهش دیگری روی کلم زینتی نشان داد که غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن باعث بلندترین گیاهان شد و همچنین گیاهان تغذیه شده با ۲۰۰ یا ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن قطر بیشتری نسبت به ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر داشتند (Gibson & Whipker, 2003) که با نتایج این آزمایش همسو است.

مقدار قند محلول برگ با افزایش نیتروژن تا ۲۲۵ و پتاسیم تا سطح ۱۷۵ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافت. بیشترین مقدار قند محلول برگ مربوط به تیمار ۲۲۵:۱۷۵ بود که تفاوت معنی‌داری با شاهد و نسبت‌های ۱۷۵:۱۷۵، ۱۷۵:۲۲۵ و ۲۲۵:۱۲۵ نداشت. مقدار قند در سطح ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن و برهمکنش آن با سطوح مختلف پتاسیم کمتر از شاهد بود. اثر کاهنده نیتروژن در مقایسه با شاهد می‌تواند ناشی از تحریک رشد رویشی و مصرف قند حاصل از فتوسنتز باشد. در کلم سفید زمستانه گزارش شده که افزایش نیتروژن باعث کاهش محتوای قند گردیده است (Freyman *et al*., 1991).

در سطح ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن، با افزایش مقدار پتاسیم مقدار قند محلول برگ کاهش یافت. اما در سطح ۱۷۵ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن، با افزایش مصرف پتاسیم تا سطح ۱۷۵ میلی‌گرم بر لیتر مقدار قند افزایش یافت. در سطح ۲۲۵ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن نیز با افزایش پتاسیم تا سطح ۱۷۵ میلی‌گرم بر لیتر محتوای قند برگ افزایش و اما پس از آن کاهش یافت. اثر کاهشی مشاهده شده در سطوح بالای پتاسیم در سطح ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن می‌تواند ناشی از نقش پتاسیم در انتقال قند از برگ به ساقه و ریشه باشد. چون با کمبود پتاسیم، قند حاصل از فتوسنتز در برگ تجمع می‌یابد. از سوی دیگر اثر افزایشی پتاسیم بر قند می‌تواند مربوط به نقش مثبت آن در فتوسنتز باشد. پتاسیم فتوسنتز را تحریک می‌کند و در انتقال قندها نقش دارد (Pirie & Mullins, 1977). فتوسنتز در برگ‌های دارای کمبود پتاسیم به شدت کاهش می‌یابد. وضعیت تغذیه‌ای پتاسیم از طریق عملکرد آن در تنظیم روزنه بر فتوسنتز تأثیر می گذارد و کمبود آن باعث افزایش مقاومت روزنه به CO_2 می‌شود. با کاهش غلظت پتاسیم برگ، سرعت فتوسنتز و فعالیت RuBP کربوکسیلاز، کاهش می‌یابد (Marschner, 2011).

پتاسیم افزون بر فتوسنتز، هم در بارگیری ساکارز و هم در سرعت انتقال املاح بر اساس جریان توده‌ای در لوله‌های غربالی آبکش نیز نقش دارد. انتقال آسیمیلات‌ها به ریشه در گیاهان دارای کمبود پتاسیم به شدت کاهش می‌یابد (Cakmak *et al*., 1994a).

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.1.89]

همچنین فعالیت آنزیم استارچ سینتاز[1] به شدت به کاتیون‌های تک ظرفیتی وابسته است و از میان این کاتیون‌ها پتاسیم مؤثرترین است (Nitsos and Evans, 1969). این باعث می‌شود که در بافت‌های گیاهی با کمبود پتاسیم تغییراتی در الگوی متابولیت مثل افزایش کربوهیدرات‌های محلول، به ویژه قندهای کاهنده رخ دهد (Armengaud *et al*., 2009). از سوی دیگر کاهش قند در نسبت ۲۲۵:۲۲۵ می‌تواند ناشی از مصرف قند در رشد رویشی تحریک شده با نیتروژن زیاد باشد. بنابراین بر اساس شاخص قند محلول برگ می‌توان نتیجه گرفت که نسبت نیتروژن : پتاسیم برابر ۱۷۵:۱۷۵ در کنار رشد مناسب برای تحمل تنش سرما نیز برای گیاهان مطلوب است.

در سطوح مختلف پتاسیم، با افزایش نیتروژن مقدار پرولین افزایش یافت. اما در سطوح متوسط و بالای نیتروژن، با افزایش پتاسیم مقدار پرولین افزایش ولی در کمترین سطح نیتروژن (۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر) با افزایش پتاسیم مقدار پرولین کاهش یافت که می‌تواند ناشی از افزایش حساسیت بافت به سرما در حضور نیتروژن زیاد باشد. مقدار زیاد نیتروژن در دسترس باعث افزایش حساسیت به عوارض فیزیولوژیکی در طول فصل می‌شود. همچنین یکی از نقش‌های پتاسیم تحمل تنش‌ها است که نتایج این آزمایش نیز نشان دهنده این موضوع است (Marschner, 2011; Turan, & Sevimli, 2005).

مصرف کود نیتروژن و پتاسیم تا سطح ۱۷۵ میلی‌گرم بر لیتر محتوای کلروفیل برگ را افزایش داد. نیتروژن یکی از اجزای تشکیل دهنده‌ی ساختار کلروفیل است (Marschner, 2011). پژوهشگران مختلف گزارش کرده‌اند که افزایش سطح نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ کلروفیل را افزایش می‌دهد (Chenard *et al*., 2005; Zhao *et al*., 2001). کاهش کلروفیل در سطوح بالای کود می‌تواند ناشی از حساس شدن به تنش سرما باشد. بین محتوای کلروفیل برگ و مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاهان همبستگی مثبت وجود دارد (Zhao *et al*., 2003; Arena *et al*., 2020).

افزایش مصرف نیتروژن و پتاسیم نسبت به شاهد منجر به افزایش آنتوسیانین برگ نشد که با نتایج Shaikh *et al*. (2008) همسو است. آنها گزارش کردند که غلظت آنتوسیانین تحت تاثیر سطوح مختلف نیتروژن قرار نگرفت. اما در شرایط کمبود نیتروژن و فسفر آنتوسیانین افزایش یافت که علت آن عمل آنتوسیانین به عنوان آنتی‌اکسیدانت در شرایط تنش برای حذف رادیکال‌های آزاد است (Tjhia *et al*., 2018). تشکیل آنتوسیانین نتیجه کمبود مواد غذایی است و سنتز زیاد آنتوسیانین در نخود گل و گل بنفشه رشد یافته روی بسترهای شنی ضعیف از نظر مواد غذایی مشاهده شده است. همچنین در چغندر قند اغلب تشکیل رنگیزه‌های قرمز یا بنفش در شرایط کمبود حاصل می‌شود (Blank, 1947). اما در این آزمایش نتایج تیمارهای کوددهی نشان داد که بیشترین آنتوسیانین در سطح ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر پتاسیم حاصل شد که با نتایج آزمایشی روی انگور مبنی بر اثر مثبت کاربرد برگی کودهای پتاسیم بر افزایش آنتوسیانین حبه‌های انگور همسو بود (Wu *et al*., 2021). بین حضور کربوهیدرات‌ها و سنتز پلی‌فنل‌ها در میوه رابطه نزدیک وجود دارد (Mohammed *et al*., 1993; Pirie & Mullins, 1977). افزایش مقدار نیتروژن باعث کاهش پلی‌فنل کل می‌شود اما در حضور پتاسیم، نیتروژن می‌تواند سنتز پلی‌فنل‌ها را افزایش دهد. همچنین کاربرد مقدار زیاد پتاسیم مقدار

۱- Starch synthase

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.1.89]

آنتوسیانین‌ها را کاهش می‌دهد که اما وقتی مقدار پتاسیم با مقدار کافی نیتروژن در تعادل باشد کاهش آنتوسیانین رخ نمی‌دهد (Delgado *et al*., 2006). بنابراین تعادل بین نیتروژن و پتاسیم در این مورد تعیین کننده است. در آزمایش حاضر اگرچه در شرایط کمبود عناصر غذایی (شاهد) آنتوسیانین بیشتر بود اما در سطوح کودی مورد آزمایش کاهش شدید آنتوسیانین مشاهده نشد که بیانگر کافی بودن سطوح نیتروژن و پتاسیم به کار رفته است و بیشتر از این مقادیر ممکن است اثر منفی روی گیاه داشته باشد.

مصرف متوسط نیتروژن پیش از گلدهی باعث افزایش تجمع آنتوسیانین در انگور می‌شود (Delgado *et al*., 2004; Keller & Hrazdina, 1998). مقدار زیاد نیتروژن در خاک می‌تواند باعث افزایش رشد رویشی و کاهش سنتز پلی‌فنل‌ها شود (Delgado *et al*., 2004; Kliewer, 1977; Spayd *et al*., 1994).

غلظت بالای نیترات، فسفات و پتاسیم با افزایش جذب CO_2 باعث افزایش فتوسنتز می‌گردد. نیتروژن از اجزای ساختاری پروتئین، آنزیم‌ها، اسیدهای نوکلئیک، هورمون‌های گیاهی، کلروفیل و دیگر متابولیت‌های ثانویه است. بنابراین در رشد گیاهان نقش اساسی دارد. همچنین پتاسیم نقش اساسی در سنتز پروتئین، تنظیم اسمزی، فعال کردن آنزیم‌ها، فتوسنتز، حرکت روزنه، تبدیل انرژی، انتقال مواد در آوند آبکش، تعادل آنیون – کاتیون و تحمل تنش دارد (Marschner, 2011). پتاسیم همچنین باعث تحریک فتوسنتز و بهبود انتقال قند در آوند می‌شود (Pirie & Mullins, 1997). بنابراین مصرف همزمان نیتروژن و پتاسیم برای رشد مطلوب گیاهان لازم است.

نتایج آنالیز همبستگی نشان داد شاخص مقدار قند محلول با شاخص‌های رشد رویشی رابطه منفی دارد. این نشان می‌دهد که با کاهش رشد گیاه قند محلول تجمع یافته است و در تیمارهایی که رشد مطلوب بوده قندهای محلول مصرف شده‌اند. ضرایب همبستگی آنتوسیانین با شاخص‌های اندازه‌گیری شده نیز نشان می‌دهد که مقدار آنتوسیانین با شاخص‌های رشد رویشی و محتوای کلروفیل و پرولین رابطه منفی دارد. سنتز آنتوسیانین می‌تواند تحت تاثیر تامین مواد مغذی قرار گیرد. همسو با نتایج پژوهش حاضر، افشانش برگی اوره باعث افزایش غلظت کلروفیل سیب شده، اما غلظت آنتوسیانین را کاهش داده است (Reay *et al*., 1998). برعکس این پدیده در همبستگی مقدار پرولین با شاخص‌های اندازه‌گیری شده مشاهده شد به‌طوری که مقدار پرولین با مقدار آنتوسیانین برگ رابطه منفی و با شاخص‌های رشد رویشی همبستگی مثبت داشت. ضرایب همبستگی مقدار کلروفیل با دیگر شاخص‌های اندازه‌گیری شده نشان داد که کلروفیل با رشد رویشی گیاه و پرولین رابطه مثبت داشت. این نشان می‌دهد که به احتمال تجمع پرولین نسبت به تجمع قند محلول اثر بهتری در تحمل تنش سرما در کلم زینتی داشته است.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی مقایسه سطوح مختلف کودها بیانگر ایجاد بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی، طول ساقه، کلرفیل و پرولین در سطح ۱۷۵ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن همراه با بالاترین سطح پتاسیم یعنی ۲۲۵ میلی‌گرم بر لیتر است. در مورد محتوای قند محلول برگ مقدار ۱۷۵ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن و ۱۷۵ تا ۲۲۵ میلی‌گرم بر لیتر پتاسیم مناسب بود. بر اساس این مشاهدات و همچنین با توجه به اهمیت شاخص‌های قطر تاج، تحمل سرما و حفظ برگ‌ها و کیفیت رنگ آنها در کلم زینتی، می‌توان مقدار ۱۷۵ تا ۲۲۵

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.1.89]

میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن همراه با ۲۲۵ میلی‌گرم بر لیتر پتاسیم علاوه بر مقدار آنها در خاک بستر (۰/۰۳ نیتروژن و ۱۷۵ پی‌پی‌ام پتاسیم) را برای رشد مطلوب این گیاه پیشنهاد کرد.

منابع

Ábrahám, E., Hourton-Cabassa, C., Erdei, L., Szabados, L. (2010). Methods for determination of proline in plants. In: Sunkar R. (ed.). Plant stress tolerance: methods and protocols, Springer New York Dordrecht Heidelberg London, pp 317-331.

Arena, M.E., Pastur, G.M., Lencinas, M.V., Soler, R., Bustamante, G. (2020). Changes in the leaf nutrient and pigment contents of Berberis microphylla G. Forst. in relation to irradiance and fertilization. *Heliyon*, *6*(1) https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03264.

Armengaud, P., Sulpice, R., Miller, A. J., Stitt, M., Amtmann, A., Gibon, Y. (2009). Multilevel analysis of primary metabolism provides new insights into the role of potassium nutrition for glycolysis and nitrogen assimilation in Arabidopsis roots. *Plant Physiology, 150*, 772–785.

Benincasa, P., Guiducci, M., Tei, F. (2011). The nitrogen use efficiency: meaning and sources of variation – case studies on three vegetable crops in central Italy. *HortTechnology, 21*(3), 266–273.

Blank, F. (1947). The anthocyanin pigments of plants. *The Botanical Review, 13*(5), 241–317.

Boroujerdnia, M., Ansari, N.A. (2007). Effect of Different Levels of Nitrogen Fertilizer and Cultivars on Growth, Yield and Yield Components of Romaine Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology, 1*(2), 47–53.

Cakmak, I., Hengeler, C., Marschner, H. (1994). Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency, *Journal of Experimental Botany*, 45, 1245–1250.

Cardarelli, M., Rouphael, Y., Muntean, D., Colla, G. (2015). Growth, quality index, and mineral composition of five ornamental cabbage cultivars grown under different nitrogen fertilization rates. *HortScience, 50*(5), 688–693.

Chenard, C.H., Kopsell, D.A., Kopsell, D.E. (2005). Nitrogen concentration affects nutrient and carotenoid accumulation in parsley. *Journal of Plant Nutrition, 28*(2), 285–297. https://doi.org/10.1081/PLN-200047616

Delgado, R., González, M.R., Martín, P. (2006). Interaction effects of nitrogen and potassium fertilization on anthocyanin composition and chromatic features of Tempranillo grapes. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 40*(3), 141.

Delgado, R., Martín, P., Del Álamo, M., González, M.R. (2004). Changes in the phenolic composition of grape berries during ripening in relation to vineyard nitrogen and potassium fertilization rates. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 84*(7), 623–630. https://doi.org/10.1002/jsfa.1685.

Everaarts, A.P., & De Moel, C.P. (1998). The effect of nitrogen and the method of application on yield and quality of white cabbage. *European Journal of Agronomy, 9*(2-3), 203-211.

Freyman, S., Toivonen, P.M., Lin, W.C., Perrin, P.W., Hall, J.W. (1991). Effect of nitrogen fertilization on yield, storage losses and chemical composition of winter cabbage. *Canadian Journal of Plant Science, 71*(3), 943-946.

Ghasemi Ghehsareh, M., Kafi, M. (2016). *General Floriculture. Author publication*, 215p. (In Persian).

Gibson, J.L., Whipker, B.E. (2001). Revising the fertilization strategy for ornamental cabbage. https://gpnmag.com/article/revising-fertilizer-strategy-ornamental-cabbage. Accessed August 2001.

Gibson, J.L., Whipker, B.E. (2003). Ornamental cabbage quality improved by continual fertilization through center-head coloration. *HortScience, 38*(7), 1381–1384.

Glass, A.D.M. (2003). Nitrogen use efficiency of crop plants: physiological constraints upon nitrogen absorption. *Critical Reviews in Plant Sciences, 22*(5), 453–470.

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.1.89]

Gülser, F. (2005). Effects of ammonium sulphate and urea on NO3- and NO2- accumulation, nutrient contents and yield criteria in spinach. Scientia Horticulturae. *Scientia Horticulturae, 106*(3), 330-340.

Guttormsen G. (1996). Virkningen av nitrogengjödsling paÊ avling, kvalitet og lagringsevne hos kinakaÊl. *Norsk Dindbruksforsking, 10*, 74–80.

Hirsch, R.E., Sussman, M.R. (1999). Improving nutrient capture from soil by the genetic manipulation of crop plants. *Trends in Biotechnology, 17*(9), 356–361.

Jin, S.W., Rahim, M.A., Kim, H.T., Park, J.I., Kang, J.G., Nou, I.S. (2018). Molecular analysis of anthocyanin-related genes in ornamental cabbage. *Genome, 61*(2), 111-120.

Keller, M., Hrazdina, G. (1998). Interaction of nitrogen availability during bloom and light intensity during veraison. II. Effects on anthocyanin and phenolic development during grape ripening. *American Journal of Enology and Viticulture, 49*(3), 341-349.

Khoshgoftarmanesh, A.H. (2014). *Principles of Plant Nutrition (2nd ed.). Isfahan University of Technology*. 540p. (In Persian).

Kliewer, W.M. (1977). Influence of temperature, solar radiation and nitrogen on coloration and composition of Emperor grapes. *American Journal of Enology and Viticulture, 28*(2), 96-103.

Lichtenthaler, H.K., Wellburn, A.R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions. 591-592.

Luczai, R.T. (1992). Flowering cabbage and kale: Ideal for use in late fall landscapes. *PPGA News, 23*(4), 2–3.

MacDonald, W.N., Blom, T.J., Tsujita, M.J., Shelp, B.J. (2013). Improving nitrogen use efficiency of potted chrysanthemum: Strategies and benefits. *Canadian Journal of Plant Science, 93*(6), 1009–1016.

Maness, N. (2010). Extraction and analysis of soluble carbohydrates. In: Sunkar R. (ed.). Plant stress tolerance: methods and protocols, Springer New York Dordrecht Heidelberg London, pp. 341-370.

Marquardt, B., Schlemmer, R. (1996). Flowering kale: Fall color for late sales. *GrowerTalks, 60*(3), 68–69.

Marschner, H. (2011). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press. 651p.

McAvoy, R. (1994). Cultural tips for ornamental cabbage and kale. *CT Greenhouse Newsletter, 180*, 13–15.

McDougall, G.J., Fyffe, S., Dobson, P., Stewart, D. (2007). Anthocyanins from red cabbage–stability to simulated gastrointestinal digestion. *Phytochemistry, 68*(9), 1285-1294.

Mohammed, S., Singh, D., Ahlawat, V.P. (1993). Growth, yield and quality of grapes as affected by pruning and basal application of potassium. *Haryana Journal of Horticultural Sciences, 22*, 179–183.

Nitsos, R.E. and Evans, H.J. (1969). Effects of univalent cations on the activity of particulate starch synthetase. *Plant Physiology, 44*, 1260–1266.

Piccaglia, R., Marotti, M., Baldoni, G. (2002). Factors influencing anthocyanin content in red cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L. f rubra (L) Thell). *Journal of the Science of Food and Agriculture, 82*(13), 1504-1509.

Pirie, A., Mullins, M.G. (1977). Interrelationships of sugars, anthocyanins, total phenols and dry weight in the skin of grape berries during ripening. *American Journal of Enology and viticulture*, *28*(4), 204-209.

Reay, P.F., Fletcher, R.H. and Thomas, V.J.G. (1998). Chlorophylls, carotenoids and anthocyanin concentrations in the skin of 'Gala' apples during maturation and the influence of foliar applications of nitrogen and magnesium. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 76*(1), 63-71.

Shaikh, N.P., Adjei, M.B., Scholberg, J.M. (2008). Interactive effect of phosphorus and nitrogen on leaf anthocyanins, tissue nutrient concentrations, and dry-matter yield of Floralta limpograss during short day length. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 39*(7–8), 1006–1015. https://doi.org/10.1080/00103620801925414

Sorgona, A., Abenavoli, M.R., Gringeri, P.G., Cacco, G. (2006). A comparison of nitrogen use efficiency definitions in Citrus rootstocks. *Scientia Horticulturae, 109*(4), 389–393.

Spayd, S.E., Wample, R.L., Evans, R.G., Stevens, R.G., Seymour, B.J., Nagel, C.W. (1994). Nitrogen fertilization of White Riesling grapes in Washington. Must and wine composition. *American Journal of Enology and Viticulture*, *45*(1), 34-42.

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.1.89]

Takki Seed, A. (2017). Flowering Kale F1. http://www.takii.com/wp-content/uploads/2016/05/Flowering-Kale-F1-Feather-and-Fringe-Leaf-Rev-B-.pdf

Tjhia, B., Aziz, S.A., Suketi, K. (2018). Correlations between leaf nitrogen, phosphorus and potassium and leaf chlorophyll, anthocyanins and carotenoids content at vegetative and generative stage of Bitter Leaf (*Vernonia amygealina* Del.). *Journal of Tropical Crop Science*, *5*(1), 23-53.

Turan, M., Sevimli, F. (2005). Influence of different nitrogen sources and levels on ion content of cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitate*). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, *33*(3), 241-249.

Whipker, B.E. 1996. Ornamental cabbage and kale production. *North Carolina Flower Growers' Bulletin*, *4l*(3), 1-5.

Whipker, B.E., Gibson, J.L., Cloyd, R.A., Campbell, C.R., Jones, R. (1998). Success with ornamental cabbage and kale. *Horticulture Information Leaflet*, *507*, 1–9.

Wilson, C., Albano, J., Mozdzen, M., Riiska, C. (2010). Irrigation water and nitrate-nitrogen loss characterization in southern Florida nurseries: Cumulative volumes, runoff rates, nitrate-nitrogen concentrations and loadings, and implications for management. *HortTechnology, 20*(2), 325-330.

Wu, L., Li, P., Jia, H., Phillip, F.O., Bao, X., Zhao, F., Yu, K. (2021). The effect of foliar application of K_2SO_4 or KH_2PO_4 on skin color of the 'Kyoho' Grape. *Agronomy*, *11*(11), 2361.

Zhao, D., Oosterhuis, D.M., Bednarz, C. W. (2001). Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. *Photosynthetica*, *39*(1), 103–109. https://doi.org/10.1023/A:1012404204910

Zhao, D., Reddy, K.R., Kakani, V.G., Read, J.J., Carter, G.A. (2003). Corn (*Zea mays* L.) growth, leaf pigment concentration, photosynthesis and leaf hyperspectral reflectance properties as affected by nitrogen supply. *Plant and Soil*, *257*(1), 205–218. https://doi.org/10.1023/A:1026233732507

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.1.89]

Flower and Ornamental Plants (2023), 8(1): 89-104
Research article

Effects of different concentrations of Nitrogen and Potassium on morpho-physiological indices of ornamental kale

Masoud Ghasemi Ghehsareh*, Najmeh Fattahi Dehkordi

Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord
mghasemi1352@gmail.com

Abstract

Ornamental Kales are one of the most important plants of the autumn season, they are the only ornamental plants in the green space in the cold season due to their tolerance to cold and frost. Nutrition and temperature are important factors affecting plant quality, especially in terms of plant height, canopy size and color, and leaf size and number. An experiment was conducted to investigate the interaction effect of different concentrations of nitrogen and potassium fertilizers on morpho-physiological indices of ornamental kale. The treatments include the interaction of concentrations of 125, 175 and 225 mg L^{-1} of nitrogen and potassium (from the source of urea and potassium sulfate, K_2SO_4) in the form of N:K ratios including 125:125, 125:175, 125:225, 175:125, 175:175, 175:225, 225:125, 2 25:175 and 225:225 and distilled water (as control). The results showed that the treatments had a significant effect on all the measured indices. The highest fresh and dry weight of the shoot was belonged to N:K treatment equal to 175:175. The highest number of leaves in the 125:125 treatment, the highest crown diameter in the 225:225 treatment, and the highest leaf chlorophyll content was belonged to 175 mg L^{-1} nitrogen along with different concentrations of potassium. The highest soluble sugar was observed in the treatments containing 175 and 225 mg L^{-1} of nitrogen and potassium, and the highest proline was observed in the 225:225 treatment. The highest amount of anthocyanin was belonged to the control and among the fertilization treatments, it was belonged to the level of 125 mg L^{-1} of potassium. Based on these observations and also considering the importance of canopy diameter in ornamental kale, the amount of 175 to 225 mg L^{-1} of nitrogen along with 225 mg L^{-1} of potassium can be suggested for the optimal growth of this plant.

Keywords: Anthocyanin, Chlorophyll, Crown size, Fertilizing, Flowering Kale.

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.1.89]