تأثیر کاهش دما و کاهش میزان نیتروژن بر روی خصوصیات فیزیولوژیکی (رشد و فتوسنتز) گیاه گاهو (*Lactuca sativus*)

آتنا شیبانی راد[۱]، مریم حقیقی[۱*]، امیرحسین خوشگفتارمنش[۲]

[۱]گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، [۲]گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۰۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۱۱/۱۸)

چکیده:

دمای مطلوب برای رشد ریشه و شاخساره با یکدیگر متفاوت است و معمولاً دمای ریشه کمتر از دمای اتمسفر می‌باشد با این حال در اکثر کشت و کارهای امروزی این دو بخش در یک دما قرار می‌گیرند. با توجه به این که جذب عناصر غذایی توسط ریشه در دامنه‌های دمایی مختلف متفاوت است این پژوهش به منظور بررسی اثر دمای پایین ناحیه ریشه در سطوح مختلف نیتروژن بر کاهو به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تکرارطرح ریزی شد. تیمارها شامل، سه سطح نیتروژن(N1 =۱۰۰، N2 = ۷۵ وN3 = ۵۰ درصد محلول غذایی جانسون) و دو سطح دمایی(۱۵ درجه سانتی گراد =تنش دمایی پایین (T2) و ۲۵ درجه سانتی گراد= دمای بهینه ریشه(T1) بود. نتایج نشان داد که با کاهش دما و همچنین سطوح نیتروژن میزان پرولین و فنول مترشحه از ریشه نیز در تیمار T2×N3 (پایین‌ترین سطح نیتروژن در دمای پایین) به ترتیب ۹۸ و ۸ درصد از تیمار شاهد بیش‌تر بود. علاوه بر این نرخ فتوسنتز با ۸۰ درصد و میزان هدایت روزنه‌ای با ۵۶ درصد کاهش در تیمار T2×N3 به حداقل مقدار خود رسید. به نظر می‌رسد که میزان فتوسنتز، کارایی مصرف آب فتوسنتزی، شاخص کلروفیل به ترتیب ۳۹ ، ۶۹ و ۷۰ درصد در تیمار تنش سرمایی نسبت به شاهد کاهش یافت. بر اساس نتایج به دست آمده تحت شرایط تنش دمای پایین ریشه فاکتورهای نرخ فتوسنتز، شدت تعرق، هدایت روزنه ای، فنول عصاره برگی و ساخت پرولین بیشتر از سایر خصوصیات تحت تاثیر قرار می گیرد. این گیاه با ساخت ترکیبات فنولی و پرولین به منظور حفظ بقای خود مقاومت نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: دمای ریشه،گیاه کاهو، کاهش نیترات، فنول مترشحه از ریشه، پرولین، فتوسنتز

مقدمه:

امروزه کشت و کار سبزیجات در مناطق مختلف دنیا رواج یافته است که این گیاهان در مناطقی به جز خاستگاه اصلی آن ها کشت و کار می‌شوند و لازم است که به شرایط جدید سازگار شوند. سازگاری به دمای پایین نیازمند سازگاری به شرایط نوری پایین نیز می‌باشد زیرا معمولاً این دو عامل با یکدیگر همراه هستند (Huner *et al*., 1993). در شرایطی که دمای قسمت هوایی مطلوب باشد دمای پایین ناحیه ریشه یکی از عوامل محدود کننده سیستم ریشه‌ای و رشد و نمو گیاه می باشد (Pregitzer *et al*., 2000). عمق نفوذ ریشه‌ها در خاک تحت شرایط دمای پایین نسبت به دماهای بالاتر بیشتر محدود می‌شود و همچنین بیشترین مقدار وزن تر ریشه در لایه‌های بالایی خاک مشاهده می‌شود (Alvarez-uria and Körner, 2007). ساخت ترکیبات آنتی اکسیدانی و فنولی نیز تحت تنش‌های دمایی تحریک می‌شود. به عنوان مثال ساخت ترکیبات آنتی اکسیدانی تحت تأثیر دمای پایین با افزایش فعالیت فنیل آلانین آمونیالاز صورت می‌گیرد (Ling, 1996). ترکیبات فنولی، آمینواسیدها و پلی‌ساکاریدها از ترکیبات اصلی مترشحه از

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: mhaghighi@cc.iut.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.13.5.7]

ریشه‌ها در شرایط تنش‌زای محیطی می‌باشد. به ویژه در دمای پایین در گیاهان دارویی ترشح آنها تشدید شد. در دماهای نامناسب، شرایط شوری، خشکی، غرقابی و ازدیاد و کمبود و مواد غذایی ترکیبات فنولی با وزن مولکولی پایین ترشح شده از ریشه به بقای گیاه تحت شرایط تنش کمک می‌کند (Behera *et al*., 2009). ریشه‌ها یکی از مهم‌ترین نقاط مصرف کربوهیدرات‌ها هستند و با فعالیت خود می‌توانند ساخت کربوهیدرات در بخش‌های هوایی را تحت تأثیر قرار دهند (Haung, 1992). دمای پایین در ناحیه ریشه رشد، اندازه و ساختار ظاهری را همانند عملکرد ریشه تحت تأثیر قرار می‌دهد. عملکرد ریشه در دمای پایین با تغییر گرانروی آب، فشار ریشه‌ای، هدایت هیدرولیکی، فعالیت‌های متابولیکی، تولید و حرکت رو به بالای هورمون‌های گیاهی و توانایی ریشه‌ها در جذب آب و مواد غذایی رشد و باروری گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Alfocea *et al., 2010*). هم چنین ریشه¬ها محل احیا نیتروژن و تبدیل آن به فرم قابل جذب گیاه می‌باشند (Guo *et al*., 2003) که خود تحت تاثیر میزان نیتروژن در دسترس و نوع منبع نیتروژنی است. در بسیاری از گونه‌های گیاهی دیده شده است که دمای ریشه در میزان رشد شاخساره مؤثر است و البته دمای بهینه برای رشد هر یک از این گونه‌ها با یکدیگر تفاوت دارد (Kessler *et al*., 1990). دمای ریشه¬ها عمدتاً از دمای بخش‌های هوایی در طول دوره رشد پایین تر است و هم چنین تغییرات دمای ریشه نسبت به بخش‌های هوایی کم‌تر است (Wein, 1998). وظیفه اصلی ریشه‌ها جذب آب و مواد غذایی و هم چنین ساخت هورمون های گیاهی می‌باشد و دمای ناحیه ریشه می‌تواند بر میزان جذب آب و مواد غذایی از جمله نیتروژن و فرآیندهای متابولیکی اثر گذاشته و در نهایت رشد گیاه را تغییر دهد (Alvarez-uria and Körner, 2007). علاوه بر این در میان تمام وظایف ریشه جذب مواد غذایی بیش‌تر از سایرین تحت تأثیر دما قرار می‌گیرد (Zhao *et al*., 1998). در دماهای بالاتر از ۳۰-۲۵ درجه سانتی گراد نرخ فعالیت‌های متابولیکی با افزایش دما به صورت تصاعدی کاهش پیدا می¬کند. پایین تر از این آستانه بیش‌تر گیاهان معتدله دچار عوارض فیزیولوژیکی متفاوتی می‌شوند که بسته به شدت و طول مدتی که در معرض دمای بالا قرار می‌گیرند تغییرات ساختاری و مرگ سلولی در گیاه دیده می¬شود (Hutchings *et al*., 2003). کاهو یکی از سبزی‌های پر طرفدار در امریکای شمالی، اروپا و آسیا می‌باشد. طول دوره رشد آن کوتاه در حد ٦۰ روز می‌باشد و در گذشته از کشت مستقیم بذر استفاده می‌شده است در گذشته دماهای و دماهای متفاوتی برای پرورش و تولید محصول کاهو پیشنهاد شده است. دامنه دمایی ۱۷ تا ۲۸ درجه سانتی گراد برای پرورش کاهو را (Wurr *et al*., 1992) پیشنهاد کردند. Wein (۱۹۹۸) دما را به عنوان مهمترین عامل محدود کننده رشد دانهال‌های کاهو در مراحل اولیه رشد دانسته است.

به منظور بررسی کاهش دمای ریشه (به طور مستقل از دمای قسمت اندام هوایی) در گیاه بر روی خصوصیات رشد، فتوسنتزی و ترکیبات درونی کاهو این تحقیق انجام گرفت.

مواد و روش‌ها:

این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تکرار، تیمارهای کاهش میزان نیتروژن محلول غذایی جانسون (N1 =۱۰۰، N2 = ۷۵ وN3 = ۵۰ درصد محلول غذایی) و دو سطح دمایی(۱۵ درجه سانتی گراد =تنش دمایی پایین (T2) و ۲۵ درجه سانتی گراد= دمای بهینه ریشه (T1)) در شرایط محیطی کنترل شده گلخانه با میانگین دمای روز و شب ۱۷/۲۵ در گلخانه‌های دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان (عرض جغرافیایی ۱۸ ۷ ۲۳ شمالی، عرض جغرافیایی ۲ ۵۳ ۵۱ شرقی) با ۱٦ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انجام شد. بذرهای کاهو *Lactuca sativa* رقم Great lakes 118 در بستر پیت و پرلایت در سینی نشاء کاشته شده و پس از ٤ هفته رشد به سیستم هیدروپونیک اصلی که حاوی محلول غذایی جانسون با های نیتروژن تعریف شده منتقل شدند شدند هر یک از ظروف حاوی یک لیتر محلول غذایی بودند در هر ساعت ۱۵ دقیقه هوادهی شدند و پس از ۷۲ ساعت محلول غذایی تعویض می‌گردید. میزان نیتروژن در محلول غذایی جاسون از طریق نمک‌های پتاسیم نیترات، کلسیم نیترات و آمونیوم فسفات تامین می‌گردد که منبع اصلی KNO_3 است و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.13.5.7]

غلظت نیتروژن تأمین شده از طریق آن ۲۲٤ میلی گرم در لیتر می‌باشد. ظروف هیدروپونیک در حمام‌های آبی با دماهای ۲۵ و ۱۵ درجه سانتی گراد به منظور تأمین دمای مورد نیاز در ناحیه ریشه قرار گرفتند. پس از گذشت ۳ هفته از اعمال تیمارها، میزان فتوسنتز، تعرق، میزان CO_2 روزنه و هدایت روزنه توسط دستگاه اندازه گیری فتوسنتز مدل (LCi Prtable, photosynthesis system ساخت کشور انگلستان) و میزان فلورسنس فلورسانس کلروفیل توسط دستگاه فلورومتر (مدل OS- 30 ساخت کشور انگلستان) و شاخص کلروفیل توسط دستگاه کلروفیل سنج (مدلCL-01 ساخت کشور انگلستان) اندازه گیری شد. میزان هدایت روزنه‌ای و کارایی مصرف آب از طریق فرمول‌های زیر محاسبه گردید:

(۱). هدایت مزوفیلی=میزان فتوسنتز/ میزان کربن دی اکسید زیر روزنه

(۲). کارایی مصرف آب= میزان فتوسنتز/ میزان هدایت زیر روزنه‌ای

سپس گیاهان جمع آوری شده و خصوصیات رویشی همانند وزن‌تر ساقه و ریشه، وزن خشک ساقه و ریشه اندازه گیری شد. حجم ریشه براساس قانون ارشمیدوس بدین صورت که ریشه¬ها وارد حجم مشخصی آب شده و میزان افزایش حجم آب برابر با حجم ریشه¬ها در نظر گرفته می¬شود. اندازه گیری پرولین به روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) و قرائت در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکترو فتومتر(مدل-UV 600A) انجام گرفت. به منظور اندازه گیری آنتی اکسیدان و فنول ابتدا از گیاهان خشک شده در آون عصاره گیری شد. برای عصاره‌گیری ۱۰ گرم از پودر برگ را با ۲۰ سی سی متانول ۸۰ ٪ ترکیب کرده روی شیکر ۱۵۰ دور برای ۲٤ ساعت در دمای محیط قرار می‌دهیم سپس محلول را صاف شد و عصاره برگ به دست آمد. برای اندازه گیری آنتی اکسیدان برگ به شیوه DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکترو فتومتر (مدل-UV 600A ساخت کشور انگلستان) قرائت صورت گرفت و توسط فرمول شماره ۳ محاسبه شد (Yu *et al.*, 2002).

(۳)

$$\text{درصد ممانعت کنترلی} = \frac{\text{جذب کنترلی - جذب نمونه}}{\text{جذب کنترل}}$$

برای اندازه‌گیری فنول مترشحه از ریشه و عصاره برگ به شیوه فولین سیو کالتو ۵ با دستگاه اسپکترو فتومتر در طول موج ۷٦۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکترو فتومتر (مدل-UV 600A ساخت کشور انگلستان) قرائت شد (Sing *et al.*, 2002).

تجزیه و تحلیل نتایج توسط نرم افزار Statistix8 و مقایسه میانگین ها توسط آزمون LSD در سطح ۵ ٪ انجام شد.

نتایج:

اثرات ساده نیتروژن بر خصوصیات رشد کاهو: وزن تر و خشک ریشه در تیمار شاهد دارای حداکثر مقدار و در تیمار N3 با حدود ٤۰ درصد کاهش به حداقل مقدار خود رسید. میزان وزن تر و خشک ساقه نیز با بیش از ۵۰ درصد کاهش در تیمار N3 حداقل مقدار و در حالت شاهد بیشترین مقدار خود را داشت. حجم ریشه در تیمار N3 به اندازه ۱٦/۵ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود و تا ۵۰ درصد از تیمار N2 بیشتر بود (جدول ۱).

اثرات ساده سطوح نیتروژن بر خصوصیات فتوسنتزی کاهو: میزان فتوسنتز در تیمار ۵۰ درصد نیتروژن به حداقل میزان خود رسید و تا ۳۹/۱ درصد از تیمار شاهد کم تر بود. در میزان شدت تعرق تفاوت معنی داری میان سطوح ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیتروژن مشاهده نشد هر چند که در تیمار N2 نیز از لحاظ عددی ۲۰درصد از حالت شاهد کمتر بود. در تیمار ۵۰ درصد نیتروژن تا ۷۲ درصد شدت تعرق از تیمار شاهد کمتر بود. میزان دی اکسید کربن زیر روزنه در تیمار ۷۵ درصد نیتروژن ۱۰ درصد از حالت شاهد بیشتر بود و بعد از آن تیمار N3 با ٥٤درصد کاهش حداقل میزان کربن دی اکسید زیر روزنه را داشت. میزان دما در سطح برگ نیز که توسط دستگاه کلروفیل سنج تعیین می گردید در یک روند صعودی با کاهش میزان نیتروژن اعمال شده افزایش یافت. میزان هدایت زیر روزنه ای در یک روند نزولی با کاهش میزان نیتروژن کاهش یافت و در تیمار شاهد تا ٦٦درصد بیشتر از سایر تیمارها بود (جدول ۲). هدایت مزوفیلی در میان تیمار های نیتروژنی اعمال شده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.13.5.7]

جدول ۱- اثرات ساده سطوح نیتروژن بر خصوصیات رشد کاهو

تیمار	وزن تر ریشه (g)	وزن تر ساقه (gr)	وزن خشک ریشه (gr)	وزن خشک ساقه (gr)	حجم ریشه (mm^3)
N1	٤/۳۱ a	۳۱/۹۷ a	۰/۱ a	۱/۳۱ a	۲/۵۸ ab
N2	۲/۷۷ b	۱٦/۳٤ b	۰/۰۵ b	۰/۷۲ a	۱/۹۷ b
N3	۲/٤٤ b	۱٤/۹۵ b	۰/۰٦ b	۰/٦٤ b	۳/۰۹ a

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترکی هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح خطای ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

N1: نیتروژن ۱۰۰٪، N2: نیتروژن ۷۵٪، N3: نیتروژن ۵۰٪.

جدول ۲- اثرات ساده سطوح نیتروژن برخصوصیات فتوسنتزی کاهو.

تیمار	نرخ فتوسنتز (μ mol CO_2 /m^2 s)	تعرق ($mmol/m^2s$)	CO_2 زیر روزنه (μmol)	دما سطح برگ (°C)	هدایت روزنه‌ای (m^2.s.mol)
N1	۲/٤۲ b	۰/۲۸ a	۷/۲ a	۲۹/۲۳ c	۲/۳۷ a
N2	۳/۰۵ a	۰/۲۵ a	۸ a	۲۹/٦٦ b	۱/۹ b
N3	٤/۲۱ c	۰/۰۸ b	۳/۷ a	۳۰/۲۲ a	۱/۵۸ c

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترکی هستند بر مبنای آزمون LSDدر سطح خطای ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

N1: نیتروژن ۱۰۰٪، N2: نیتروژن ۷۵٪، N3: نیتروژن ۵۰٪.

جدول ۳- اثرات ساده سطوح نیتروژن برخصوصیات فتوسنتزی کاهو.

تیمار	هدایت مزوفیلی ($mmol\ CO_2.s^{-1}$)	کارایی مصرف آب فتوسنتزی ($\mu mol\ CO_2.mol\ H_2O^{-1}$)	شاخص کلروفیل (SPAD value)	کلروفیل فلورسانس ($fv.fm^{-1}$)
N1	۰/۳۵ a	۰/۹۳ b	۱۱/۰۳ a	۰/۰۳ a
N2	۰/٤ a	۱/۵ a	۸/۲۹ b	۰/۰۱ b
N3	۰/٤٤ a	۰/۹۲ b	٤/۲۱ c	۰/۰۱ b

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترکی هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح خطای ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

N1: نیتروژن ۱۰۰٪، N2: نیتروژن ۷۵٪، N3: نیتروژن ۵۰٪.

تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. اما کارایی مصرف آب فتوسنتزی در تیمار N2 تا ۳۷درصد از تیمار شاهد بیشتر بود و میان دو تیمار N1 و N3 تفاوت معنی داری مشاهده نشد. شاخص کلروفیل نیز یک روند نزولی را نشان داد و با کاهش سطوح نیتروژن اعمال شده میزان کلروفیل نیز کاهش یافت. شدت کلروفیل فلورسانس نیز با کاهش میزان نیتروژن کاهش یافت (جدول ۳).

اثرات ساده نیتروژن برخصوصیات فیزیولوژیکی کاهو: میزان فنول مترشحه از ریشه تفاوت معنی داری را در میان تیمارهای اعمال شده نشان نداد اما میزان فنول کل عصاره برگی در تیمار شاهد از سایر تیمارها کمتر و در تیمار N2 به حداکثر میزان خود رسید و در تیمار N3 به اندازه ۸/۱۵ درصد از تیمار N2 کمتر بود. میزان پرولین یک روند صعودی را نشان داد و با کاهش سطوح نیتروژن میزان پرولین افزایش یافت و در تیمار N3 تا ۸۰ درصد از تیمار شاهد بیشتر بود. میزان ترکیبات آنتی اکسیدانی با کاهش میزان نیتروژن کاهش یافت (جدول ٤).

اثرات متقابل دما و سطوح نیتروژن بر فاکتورهای رویشی کاهو: وزن‌تر شاخساره در هر دو دمای اعمال شده در شرایط حداکثر نیتروژن بیشترین مقدار را داشت و در تیمارهای T2×N2 و T1×N2 کاهش یافت اما در هر دو دمای اعمال شده تیمارهای T2×N3 و T1×N3 تفاوت معنی‌داری را از لحاظ آماری با یکدیگر نشان ندادند. میزان وزن تر شاخساره در حالت شاهد تا ۳٦ درصد نسبت به سایر تیمارها وزن بیشتری داشت از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

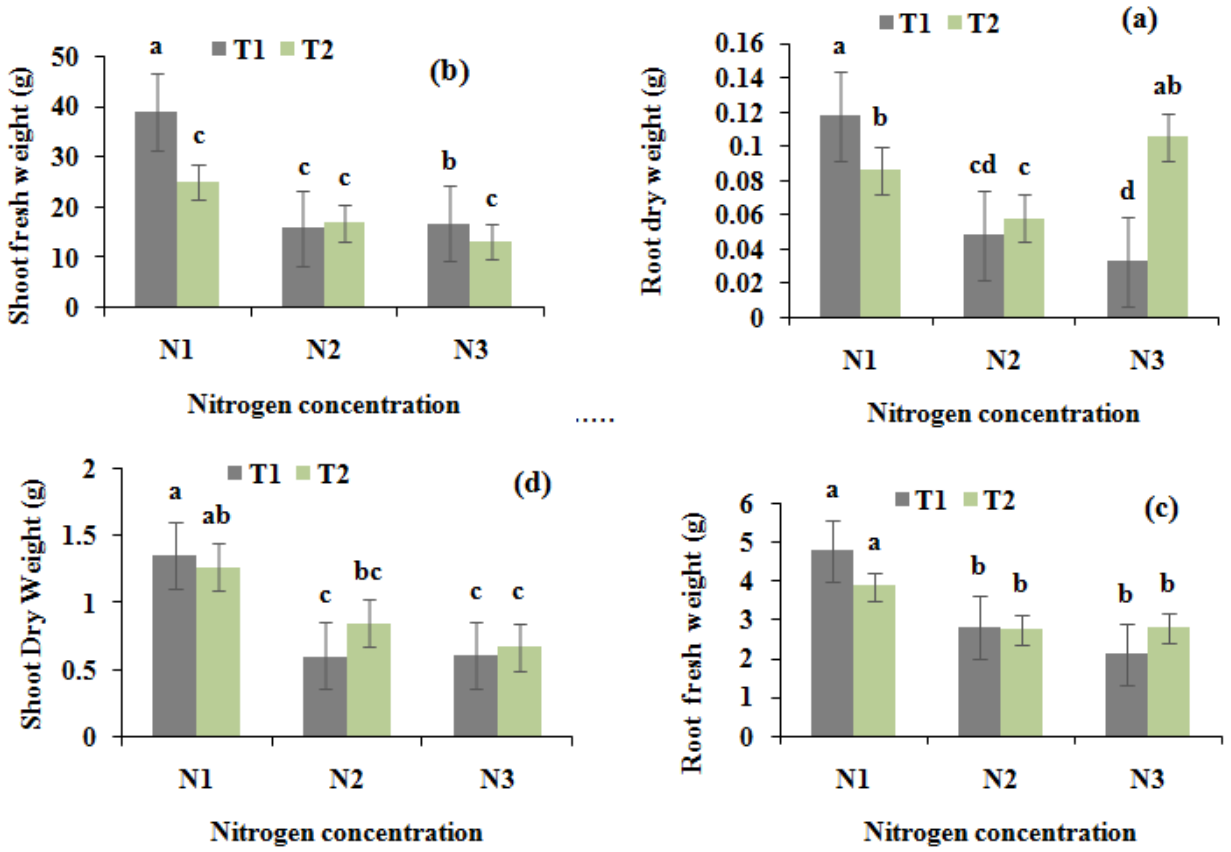
[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.13.5.7]

جدول ٤- اثرات ساده سطوح نیتروژن بر خصوصیات فیزیولوژیکی کاهو.

تیمار	فنول مترشحه از ریشه (ppm)	فنول عصاره شاخساره (ppm)	پرولین (µg/g)	آنتی اکسیدان (ppm)
N1	١٦/٤٥ a	١٢/٥٢ c	٥٦/٤٤ c	١٠/١٣ a
N2	١٧/٥١ a	٢٩/١٩ a	٢١١/٥٣ b	٦/٤٧ b
N3	١٥/٦٦ a	٢٣/٨١ b	٢٧٧/٦٥ a	٣/٠٥ c

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترکی هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح خطای ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

N1: نیتروژن ۱۰۰٪، N2: نیتروژن ۷۵٪، N3: نیتروژن ۵۰٪.

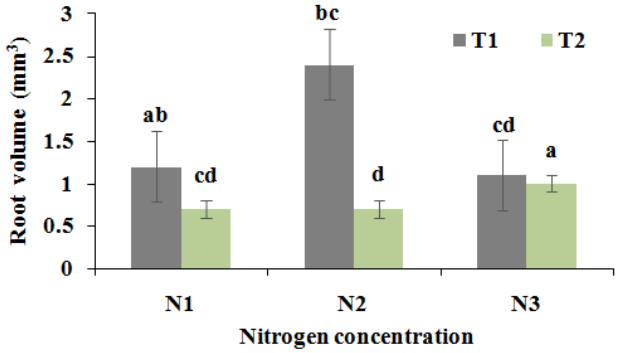


شکل ۱- اثرات متقابل دما و سطوح نیتروژن بر خصوصیات رشدی کاهو. ستون‌های دارای حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح خطای ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. T1 : ۲۵ درجه سانتی گراد، T2: ۱۵ درجه سانتی گراد. N1: نیتروژن ۱۰۰٪، N2: نیتروژن ۷۵٪، N3: نیتروژن ۵۰٪.

لحاظ عددی با کاهش مقدار نیتروژن و دما از میزان وزن تر شاخساره کاسته شد اما تیمارها تفاوت معنی داری را از خود نشان ندادند (شکل ۱- a). وزن خشک شاخساره نیز در در شرایط حداکثر میزان نیتروژن در هر دو دمای اعمال شده بیشتر از تیمارهای T2×N3 و T1×N3 بود. در تیمار دمای پایین بین تیمار T2×N3 و T2×N1 نیز تفاوت معنی‌دار مشاهده شد و وزن خشک شاخساره در تیمار T2×N3 تا ٤٢ درصد کمتر از T2×N1 بود (شکل۱ - b). وزن تر و خشک ریشه نیز روندی مشابه با وزن تر و خشک شاخساره داشتند و در حالت شاهد بیشترین مقدار مشاهده شد اما در تیمار T2×N3 افزایشی ۱۷ درصدی نسبت به شاهد مشاهده گردید (شکل ۱- c و d). حجم ریشه در تیمار T2×N3 دارای بیشترین مقدار خود بود و شرایط نیتروژن کامل و دمای بهینه با ۱۸ درصد کاهش نسبت به تیمار T2×N3 تفاوت معنی داری نداشت. در سایر تیمار ها حجم ریشه کاهش یافت و در تیمار T2×N2 به حداقل میزان خود رسید (شکل ۲).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.13.5.7]



شکل ۲- اثرات متقابل دما و سطوح نیتروژن بر حجم ریشه کاهو. ستون‌های دارای حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح خطای ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. T1 : ۲۵ درجه سانتی گراد، T2: ۱۵ درجه سانتی گراد. N1: نیتروژن ۱۰۰٪، N2: نیتروژن ۷۵٪، N3: نیتروژن ۵۰٪.

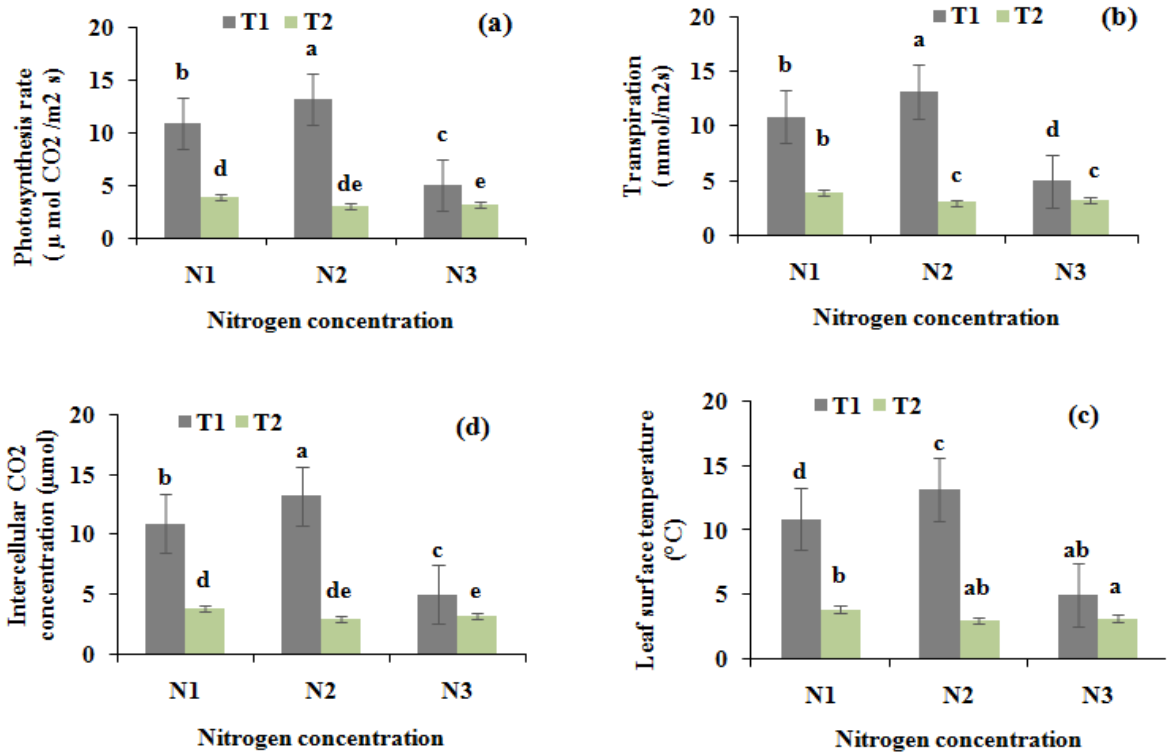
اثرات متقابل دما و سطوح نیتروژن اعمال شده بر خصوصیات فتوسنتزی کاهو: حداکثر میزان نرخ فتوسنتز در تیمار T2×N3 با ۳۱/۵ درصد افزایش از تیمار شاهد دیده شد. در شرایط دمای ۱۵ درجه سانتی گراد میزان فتوسنتز یک روند نزولی را نشان داد و حداقل مقدار آن در تیمار T2×N3 با ۸۰ درصد کاهش نسبت به حالت حداکثر مشاهده شد (شکل۳- a). در بررسی اثرات متقابل دما و سطوح نیتروژن بیشترین مقدار تعرق در تیمار T2×N3 و در رده دوم با ٦۷/۷ درصد کاهش در تیمار T2×N1 و T1×N1 در نهایت حداقل مقدار آن در تیمار T1×N3 مشاهده گردید (شکل ۳- b). میزان دی اکسید کربن زیر روزنه نیز در تیمار T1×N2 دارای بیشترین مقدار و بعد از آن در یک روند نزولی با کاهش دما و سطوح نیتروژن اعمال شده به حداقل مقدار خود در تیمار T2×N3 رسید (شکل ۳- c). دمای سطح برگ در شرایط حداقل نیتروژن و دمای پایین T2×N3دارای بیش‌ترین مقدار در حالی که در تیمار شاهد به حداقل مقدار خود رسید. همچنین با افزایش سطوح نیتروژن و دما میزان دما در سطح برگ کاهش می‌یابد (شکل۳- d).

هدایت روزنه‌ای تحت شرایط تنش دمایی و تغذیه ای نسبت به حالت شاهد یک روند نزولی را طی می¬کند و در تیمارT2×N3 با ۵۵ درصد کاهش به حداقل مقدار خود رسید (شکل٤- a). از لحاظ آماری در میزان هدایت مزوفیلی تنها در میان تیمار T2×N3 و تیمار شاهد تفاوت معنی دار مشاهده شد و از لحاظ آماری در تیمار T2×N3 تا ٤۲ درصد هدایت مزوفیلی از حالت شاهد بیش‌تر بود هرچند که از لحاظ عددی هدایت مزوفیلی با کاهش سطوح نیتروژن در سایر تیمارها نیز افزایش می یابد اما از لحاظ آماری این تفاوت معنی دار نبوده است (شکل ٤-b). کارایی آب فتوسنتزی در تیمار T1×N2 دارای حداکثر مقدار خود بود اما با کاهش دما و میزان نیتروژن از مقدار آن تا ۷۰ درصد کاسته شد (شکل ٤- c). شاخص کلروفیل در تیمار نیتروژن کامل در هر دو تیمار دمایی دارای بیشترین مقدار اما با کاهش سطح نیتروژن و کاهش دما با بیش از ۷۰ درصد کاهش به حداقل مقدار خود در تیمار T2×N3 رسید (شکل٤-d).

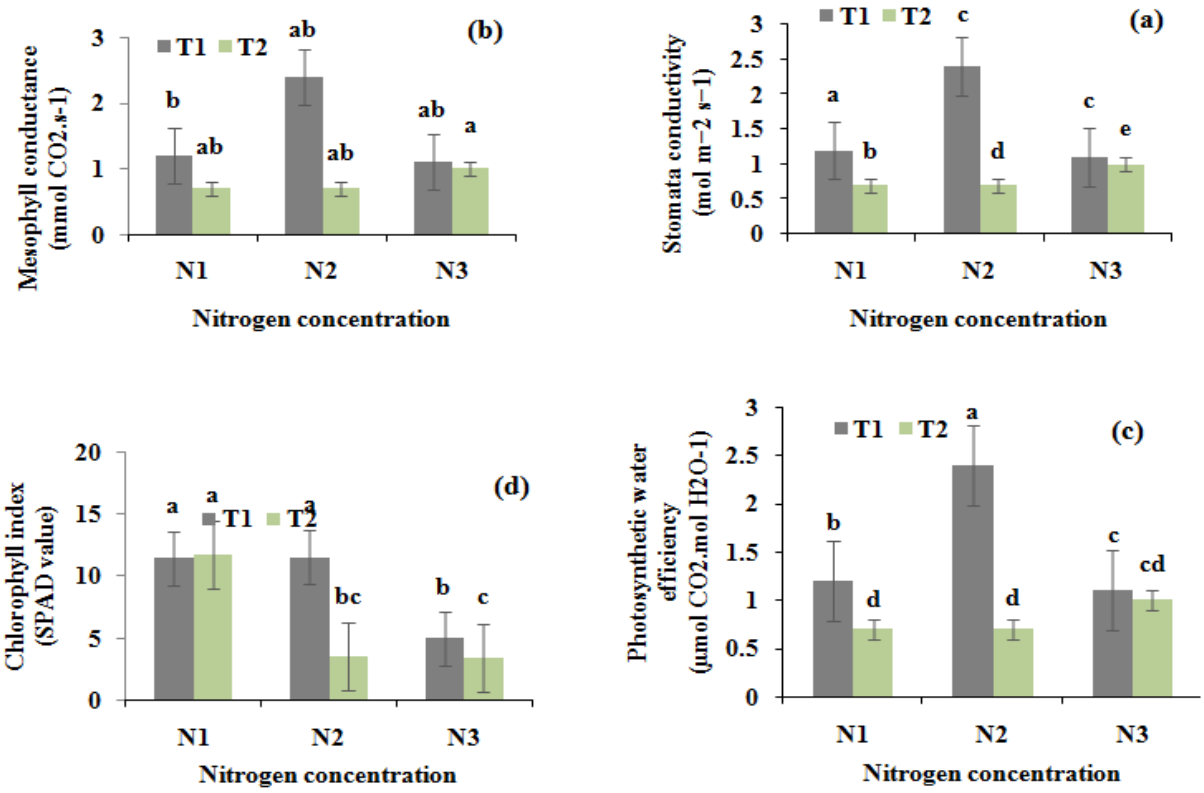
شدت کلروفیل فلورسنسی در همه تیمارهای اعمال شده نسبت به شاهد کاهش یافت و در تیمار T2×N3 به کمترین مقدار رسید (شکل ۵).

اثرات متقابل دما و سطوح نیتروژن در خصوصیات فیزیولوژیکی کاهو: میزان فنول مترشحه از ریشه در شرایط شاهد دارای کمترین مقدار و در تیمارهای T2×N2 و T2×N1 بیشترین میزان آن با ۳۲ و ۱۷ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد (شکل ٦- a). فنول عصاره برگی نیز در تیمار شاهد دارای کمترین مقدار بود و در تیمار T2×N2 ۷٦ درصد نسبت به شاهد مقدار بیشتری داشت (شکل ٦- b). محتوای پرولین با کاهش دما و میزان نیتروژن در تمام تیمار ها یک روند صعودی معنی‌دار را نشان داد و در تیمار T2×N3 نسبت به حالت شاهد بیش از ۹۸ درصد افزایش را نشان داد (شکل ٦- c). محتوای آنتی اکسیدان عصاره برگی در تیمار شاهد بیش‌ترین مقدار را داشت و با کاهش سطوح نیتروژن در هر دو

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.13.5.7]



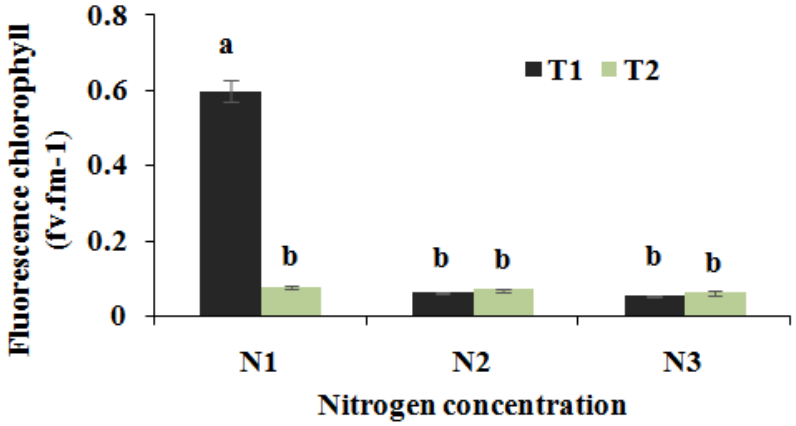
شکل ۳- اثرات متقابل دما و سطوح نیتروژن بر خصوصیات فتوسنتزی کاهو. ستون‌های دارای حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح خطای ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.T1: ۲۵ درجه سانتی گراد، T2: ۱۵ درجه سانتی گراد. N1 : نیتروژن ۱۰۰٪، N2: نیتروژن ۷۵٪، N3: نیتروژن ۵۰٪.



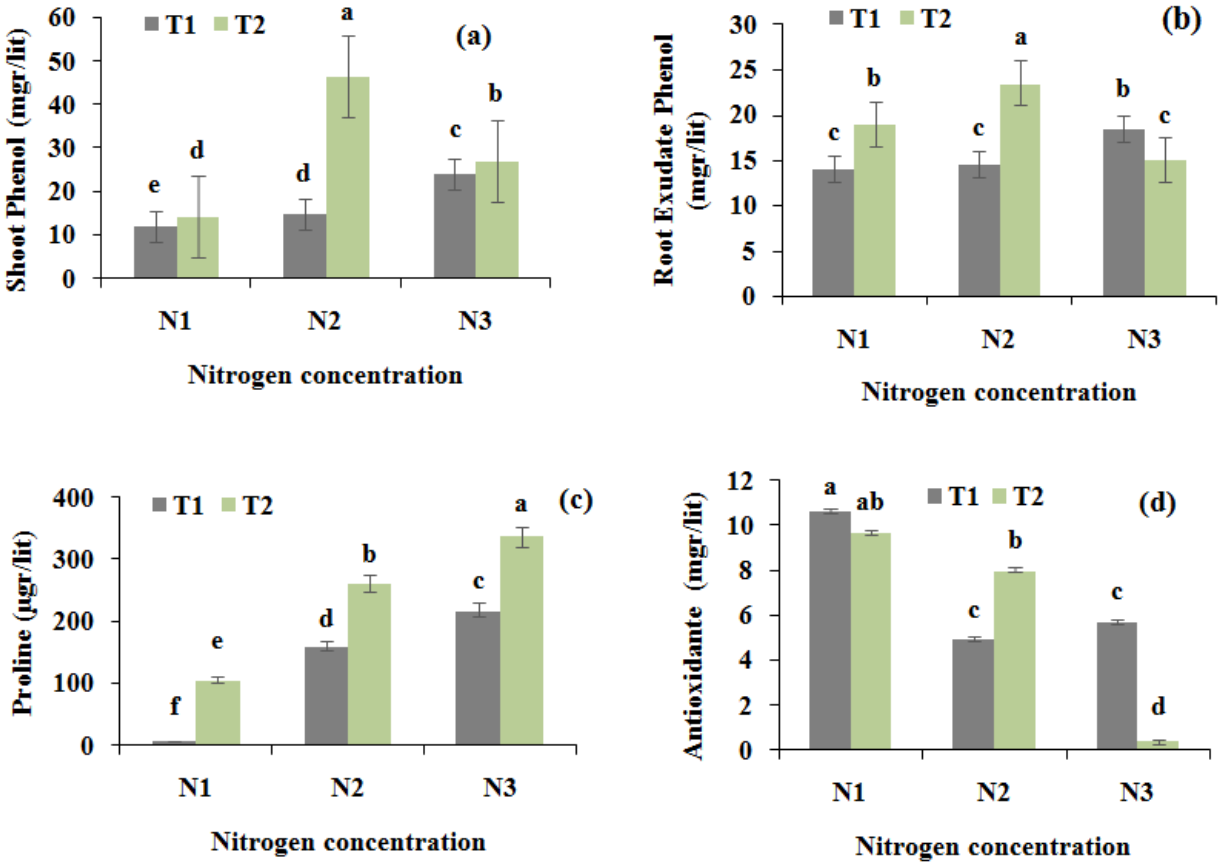
شکل ٤- اثرات متقابل دما و سطوح نیتروژن بر خصوصیات فتوسنتزی کاهو. ستون‌های دارای حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح خطای ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. T1: ۲۵ درجه سانتی گراد، T2: ۱۵ درجه سانتی گراد. N1: نیتروژن ۱۰۰٪، N2: نیتروژن ۷۵٪، N3: نیتروژن ۵۰٪.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.13.5.7]



شکل ٥- اثرات متقابل دما و سطوح نیتروژن بر میزان کلروفیل فلورسنسی. ستون‌های دارای حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح خطای ٥٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. T1: ۲۵ درجه سانتی گراد، T2: ۱۵ درجه سانتی گراد. N1: نیتروژن ۱۰۰٪، N2: نیتروژن ۷۵٪، N3: نیتروژن ۵۰٪.



شکل ٦- اثرات متقابل دما و سطوح نیتروژن بر خصوصیات فیزیولوژیکی کاهو. ستون‌های دارای حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح خطای ٥٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. T1: ۲۵ درجه سانتی گراد، T2: ۱۵ درجه سانتی گراد.N1 : نیتروژن ۱۰۰٪، N2: نیتروژن ۷۵٪، N3: نیتروژن ۵۰٪.

دمای اعمال شده از مقدار آن کاسته و در تیمار T2×N3 حداقل مقدار را نشان داد (شکل ٦-d).

بحث:

در این آزمایش رشد ریشه¬ها محدود شد اما در در شرایطی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.13.5.7]

که میزان نیتروژن توام با دما کاهش یافتند ریشه¬ها رشد بیشتری نمودند. در برخی شرایط دمای خاک نیازهای رشد و تشکیل ریشه‌ها را فراهم نمی¬کند و دماهای پایین رشد ریشه¬ها را به طور مشخصی محدود می¬کند (Körner, 1998; Körner *et al*., 2003). همچنین گزارش شده است که دمای ناحیه ریشه یکی از عوامل محدودکننده اصلی رشد ریشه¬ها و تنفس آن ها می‌باشد (Lawrence, 1983; Barber, 1998; Misra, 1999; Gavito *et al*., 2001) و ممکن است از عوامل محدودیت رشد ریشه¬ها در این تحقیق نیز باشد. Junttila (۱۹۸٦) گزارش کرده است که توسعه شاخساره ها در *Pinus sylestris L.* در دماهای ۹ تا ۱۵ درجه سانتی گراد به صورت خطی کاهش یافت و طول نهایی ساقه نیز تحت اثر دمای پایین محدود شد بود و در نهایت دمای بهینه برای پروش این گیاه را ۱۸ تا ۲۰ درجه سانتی گراد تشخیص داد.همچنین در نتایج این پژوهش مشاهده شده است که با کاهش توام دما و نیتروژن رشد شاخساره محدود و از میزان وزن و تر خشک آن کاسته شد. علاوه بر این از نظر خصوصیات ظاهری Dale (۱۹٦۵) گزارش کرد که برگ‌های سبزتر، ضخیم ترو چرمی تری را در کاهو های رشد کرده در دمای ۱۵ درجه نسبت به ۲۵ درجه سانتی گراد دیده شد. همچنین مشاهده نمودند که در دمای پایین جذب آب و رشد و توسعه برگ ها در کاهو به سرعت محدود می¬شود (Berry and Raison, 1981) و احتمالاً به همین دلیل در دمای پایین رشد سبزینه ای در این آزمایش نیز محدود گردید. Jensen و Malter (۱۹۹۵). برخلاف نتایج این آزمایش دمای پایین ۱۸ تا ۲۲ درجه سانتی گراد در (*Brassica napus*) رشد گیاه را محدود نمی¬کند (Oadreri *et al*., 2006). در اثر دمای پایین بیان ژن‌ها و به دنبال آن متابولیسم کربوهیدارت‌ها افزایش می‌یابد در پژوهشی که بر روی گیاه گازانیا.*Gazania spp* انجام گرفت همه گیاهانی که با دمای زیر صفر تیمار شده بودند از بین رفتند و تنها گیاهان بالای صفر زنده باقی ماندند (Noroozi *et al*., 2009) اما در این آزمایش دمای پایین اعمال شده بالای صفر بود و گیاهان هرچند کاهش رشد را نشان دادن اما به بقای خود ادامه دادند. در گیاهان چوبی با کاهش درجه حرارت در ناحیه ریشه رشد ریشه¬ها هم از لحاظ طول و هم از لحاظ قطر محدود گردید و در دماهای بالای ۲۱ درجه سانتی گراد اثر معنی‌داری بر رشد قسمت هوایی نداشته است اما در دماهای زیر ۱۵ درجه سانتی گراد همانند نتایج به دست آمده از این تحقیق حاضر، در دمای پایین رشد شاخساره محدود شد و (Alvarez-uriaand Körner, 2007). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که میزان فتوسنتز در تیمار ۵۰ درصد نیتروژن به حداقل میزان خود رسید و تا ۳۹/۱۲ درصد از تیمار شاهد کم تر بود. Zhao و Oosterhuis (۱۹۹۸) بر روی گیاه کتان (*Gossypium hirsutum* L.) نشان دادند که میزان پایین و بالای نیتروژن در ابتدای رشد برای کوتاه مدت اثر مستقیمی بر میزان فتوسنتز و غلظت کلروفیل نداشت اما همانند نتایج این پژوهش با کاهش میزان نیتروژن برای مدت طولانی در سراسر رشد گیاه شدت فتوسنتز و میزان کلروفیل کاهش یافت. علاوه بر این میزان ساکارز کمتر، نشاسته بیشتر و کربوهیدرات های غیر ساختاری کمتری در غلظت‌های پایین نیتروژن مشاهده شد (Zhao and Oosterhuis, 1998). در نتایج این آزمایش میزان شدت تعرق تفاوت معنی داری میان سطوح ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیتروژن مشاهده نشد اما در تیمار ۵۰ درصد نیتروژن تا ۷۲ درصد شدت تعرق از دو تیمار دیگر کمتر بود همانند نتایج این آزمایش با کاهش میزان تعرق عملکرد کمتری نیز در گیاه کتان مشاهده گردید (Gerik *et al*., 1994). همچنین در پژوهشی که توسط عارفی و همکارن (۱۳۹۳) انجام گرفت نشان داد که در سطوح بالاتر نیتروژن در پیاز شاخص کلروفیل و به ویژه کلروفیل b بیشتر بود و همانند نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر با کاهش میزان نیتروژن در دسترس گیاه از میزان عملکرد و شاخص کلروفیل کاسته شد. مانند نتایج حاصله از پژوهش حاضر در گیاه گندم *Triticum aestivum L. cv* (Yecora 70) نیز با کاهش میزان نیتروژن در دسترس گیاه مقدار تثبیت CO_2، میزان کلروفیل و علاوه بر آن‌ها شدت فعالیت آنزیم روبیسکو نیز کاهش یافت (Evans, 1983). کاهش محتوای کلروفیل نیز در گندم تحت شرایط تنش و به ویژه کلروفیل b مشاهده شده است (Behra *et al*., 2002; Castrillo *et al*., 1989). در پژوهشی که

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.13.5.7]

بر روی گندم انجام گرفته است تحت شرایط تنش همانند نتایج به دست آمده میزان هدایت روزنه‌ای کاهش و میزان دی اکسید کربن زیر روزنه ای افزایش یافت و برخلاف نتایج این آزمایش که کارایی مصرف آب فتوسنتزی افزایش یافت در تحقیق حاضر کاهش یافت. این امر نشان دهنده آن است که تحت شرایط تنش میزان دی اکسید کربن وارد شده به برگ به طور کامل در فتوسنتز مورد استفاده قرار نمی گیرد. علاوه بر این در ارقامی که میزان کلروفیل بیشتری داشتند هدایت مزوفیلی در حد بالاتر و میزان کربن دی اکسید داخل روزنه کمتر از سایر ارقام بوده است (Siose mardeh *et al*., 2003). علاوه بر این گزارش شده است که عامل اصلی محدودکننده فتوسنتز، کاهش هدایت مزوفیلی است (Fischer *et al*., 1998) میزان تحت تأثیر قرار گرفتن فتوسنتز گیاهان به پیشینه برگ ها و مدت زمان قرارگیری تحت شرایط تنش بستگی دارد و میزان تثبیت کربن در غلات تحت شرایط دمای پایین محدود می¬شود (Huner *et al*., 1993) همانند نتایج این پژوهش که با کاهش دما از فتوسنتز کاسته شد و به دنبال آن از توسعه شاخساره نیز جلوگیری به عمل آمد. تنش دمای پایین میزان فتوسنتز را کاهش می‌دهد که به تحریب غشا تیلاکوئیدها و به هم ریختن ساختمان کلروفیل را باعث می¬شود و ممکن است کاهش نرخ فتوسنتز در این آزمایش نیز به این دلیل باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۷۹). با توجه به اینکه محصول به دست آمده از فتوسنتز نزدیک به ۹۰ درصد ماده خشک گیاه را تشکیل می دهد، بنابراین تغییر در میزان فتوسنتز می‌تواند موجب تغییرات زیاد در عملکرد گیاه گردد و به عنوان یک فاکتور مهم مورد بررسی قرار می‌گیرد (پوستینی و همکاران، ۱۳۷۳) همان گونه که در پژوهش حاضر باعث تغییر در عملکرد گردید. نتایج این پژوهش در بررسی خصوصیات فیزیولوژیکی نشان داد که ترکیبات درون زاد همانند میزان فنول مترشحه از ریشه و فنول عصاره برگی و هم چنین میزان پرولین با افزایش شرایط تنش دمایی و تغذیه ای افزایش می یابد. برخی تحقیقات نشان دادند که افزایش تجمع پرولین به تنظیم اسمزی برگ کمک می‌کند که ممکن است با مقادیر بالاتر محتوای نسبی آب برگ همراه باشد در نتیجه همانند نتایج به دست آمده میزان پرولین می تواند بر میزان مقاومت گیاه به شرایط تنش تأثیر گذار باشد (Morgan, 1984). در این آزمایش فنول مترشحه از ریشه افزایش یافت و همچنین در گندم زمستانه که در دمای پایین رشد کرده بودند مقاومت بیشتری نسبت یخبندان داشتند افزایش میزان ترکیبات قندی و فنولی در ریشه گیاهانی که در معرض دمای پایین بودند نیز مشاهده گردید (Windt and Hsselt, 1999).همچنین گزارش شده است که ارقام مقاوم به تنش میزان پرولین بیشتری از ارقام حساس تولید نمودند (Siose mardeh *et al*., 2003). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که میزان آنتی اکسیدان در تیمارهایی که شرایط تنشی کمتری را تحمل می نمودند در بالاترین حد قرار گرفت و همچنین در شرایطی که بیشترین مقدار نیتروژن در اختیار گیاه بود میزان آنتی اکسیدان بیشتر از سایر تیمارها بوده است. علاوه بر نتایج به دست آمده از این آزمایش در برخی تحقیقات دیگر گزارش شده است که خنک کردن محلول غذایی به طور معنی‌داری میزان گلدهی پیش از موعد و بیماری‌های قارچی همانند پیتیوم را در کاهو محدود می¬کند (Berry and Raison, 1981). عملکرد گیاهان وابسته به منابع در دسترس ریشه است و همچنین یک سری عوامل بیماری زا می‌باشد و دمای ناحیه ریشه بر میزان آب و مواد غذایی در دسترس ریشه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Gourdriaan and Zadoks, 1995).

نتیجه گیری:

نتایج تحقیق ما نشان می‌دهد که ریشه¬های گیاه کاهو در معرض دمای پایین و سطوح نیتروژن کمتر میزان کل ترکیبات فنولی بیشتر و پرولین بیشتری ترشح می‌کنند که این امر باعث افزایش مقاومت آنها نسبت به تنش می¬شود. همچنین میزان فتوسنتز و تعرق نیز تحت شرایط تنش کاهش می‌یابد و برای رشد بهینه بهتر است که شرایط دمایی و تغذیه‌ای متناسب با نیاز گیاه فراهم شود.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.13.5.7]

منابع:

احمدی، ع. و .بیکر د. آ (۱۳۷۹) عوامل روزنه ای وغیر روزنه ای محدود کننده فتوسنتز درگندم درشرایط تنش خشکی . مجله علوم کشاورزی ایران ۳۱: ۸۱۳-۸۲۵.

پوستینی،ک . و بیکر، د. آ. (۱۳۷۳) واکنش فتوسنتزی دو رقم گندم نسبت به شوری . مجله علوم کشاورزی ایران ۲۵: ۱۶-۶۹.

عارفی، ا. کافی، م. خراعی، ح. بنایان اول، م. (۱۳۹۳) بررسی اثر سطوح مختلف نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر عملکرد، فتوسنتز و پیگمانت‌های فتوسنتزی، کلروفیل و غلظت نیتروژن اجزای گیاه دارویی و صنعتی موسیر (*Allium altisimum Regel.*). نشریه بوم شناسی کشاورزی، ٤: ۲۰۷-۲۱٤.

Alfocea, F., A. Albacete, Ghanem, M. E. and Dodd, I. A (2010) Hormonal regulation of source-sink relations to maintain crop productivity under salinity: a case study of root-to-shoot signalling in tomato. Functional Plant Biology 37: 592– 603.

Alvarez-uria, P. and Körner, C. (2007) Low temperature limits of root growth in deciduous and evergreen temperate tree species. Functional Ecology 21: 211–218.

Bates, L., Waldren, R. P. and Teare, .I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39: 205-207

Behera, R. K., Mishra, P. C. and Choudhury, .N. K. (2002) High irradiance and water stress induce alterations in pigment composition and chloroplast activities of primary wheat leaves. Plant Physiology 159: 967-973

Barber, S. A., Mackay, A. D. and Kuchenbuch, R. O. (1988) Effects of soil temperature and water on maize root growth. Plant and Soil 111: 267–269.

Berry, J. A. and Raison, J. K. (1981) Response of macrophytes to temperature. Physiological Plant Ecology 12: 227- 338.

Castrillo, M. and Calcargo, A. M. (1989) Effects of water stress and rewatering on ribulose–I, 5-bisphosphate carboxylase activity, chlorophyll and protein contents in two cultivars of tomato. Horticultural Science 64: 717 –724.

Dale, J. E. (1965) Leaf growth in *Phaseolus vulgaris* II. Temperature effects and the light factor. Annuls Botany 114: 293-307.

Evans, R. J. (1983) Nitrogen and Photosynthesis in the Flag Leaf of Wheat (*Triticum aestivum L.).* Plant Physiology 72: 297-302.

Fischer, R. A., D. Rees, K. D. Sayre, Z. M. Lu, A. G. Candon, and A. L. Saavedra. (1998) Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. Crop Science 38: 1467 1475.

Gavito, M. E., Curtis, P. S. and Mikkelsen, T. N. (2001) Interactive effects of soil temperature, atmospheric carbon dioxide and soil N on root development, biomass and nutrient uptake of winter wheat during vegetative growth. Experimental Botany 52: 1913–1923.

Gerik, T. J., Jackson, B. S. Stockle, C.O., Rosenthal, W. D. (1994) Plant nutrition status and boll load of cotton. Agronomy journal 86: 514-518.

Goudriaan, J., and Zadoks J. C. (1995) Global climate change: modeling the potential response of agro-ecosystems with special reference to crop protection. Environmental Pollution 87: 215–224.

Guo, P and Al-Khatib, K. (2003) Temperature effects on germination and growth of redroot pigweed (Amaranthus retroflexus) Palmer amaranth (A. almery), and common waterhemp (A.rudis). Weed Science 51: 869-875.

Huner, N. P. A., Oquist, G., Hurry, V. M., Krol, M., Falk, S., Griffith, M. (1993) Photosynthesis, photoinhibitation and low temperature acclimation in cold tolerant plants. Photosynthesis Research 37: 19-39.

Huang J. W. and Grunes D. L. (1992) Effects of root temperature and nitrogen form on magnesium uptake and translocation by wheat seedlings. Journal of Plant Nutrition 15: 991-1005.

Hutchings, M. J. and John, E. A. (2003) Distribution of roots in soil, and root foraging activity. In: Root ecology, ecological studies 168 (Eds Kroon, H. and E. J. W. Visser), Pp. 33–60. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.

Jensen, M. H. and Malter, A. J. (1995) Protected agriculture. A global review. World Bank Tech. Paper No. 253. The World Bank, Washington D. C.

Junttila, Olavy. (1986) Effect of temperature on shoot growth in northern provenances of *Pinus sylestris* L. Tree Physiology 1: 185-192.

Kessler, W., Boiler, B. C. and Nosberger, J (1990) Distinct influences of root and shoot temperature on nitrogen fixation by white clover. Annals of Botany 65: 341-346.

Körner, Ch. (1998) A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation. Oecologia 115: 445–459.

Körner, Ch, Paulsen, J. and Pelaez-Riedl, S. (2003) A bioclimatic characterisation of Europe's alpine areas. Alpine Biodiversity in Europe (eds Nagy, L. Grabherr, G., Körner, C. and Thompson, D. B. A.), pp. 13–28.

Lawrence W. T. and Oechel, W. C. (1983) Effects of soil temperature on the carbon exchange of taiga seedlings I. Root respiration. Canadian Journal of Forest Research 13: 840–849.

Ling, G. N. (1967) Effects of temperature on the states of water in the living cell. In Thermobiology 3: 5-24.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.13.5.7]

Siose mardeh, A., Ahmadi, A., Pustini, K. and Ebrahimzade, H. (2003) Stomatal and Nonstomatal Limitations to Photosynthesis and Their Relationship with Drought Resistance in Wheat Cultivars. Iranian journal of agricultural science 34:93-106.

Yu, L., Haley, S., Perret, J., Harris, M., Wison, J., Qian, M. (2002). Free radical scavenging properties of wheat extracts. Agricultural and Food Chemistry 50:1619–1624.

Wein, H. C. (1998) Lettuce. In: Vegetable Crop physiology (Ed H. C. Wein). Pp. 490-504. CAB International.

Windt, C. W. and Hsselt, P. R. (1999) Development of frost tolerance in winter wheat as modulated by differential root and shoot temperature. Plant biology 1: 573-580.

Wurr, D. C. E., Fellows, J. R. and Hambidge, A. J. (1992) Environmental factors influencing head density and diameter of crisp lettuce cv. *Saladian*. Horticultural science 67: 395-401.

Zhao, D. and Oosterhuis, D. M. (1998) Cotton responses to shade at different growth stages: Nonstructural carbohydrate composition. Crop Science 38:1196-1203.

Misra, R. K. (1999) Root and shoot elongation of rhizotron-grown seedlings of Eucalyptus nitens and Eucalyptus globulus in relation to temperature. Plant and Soil 206: 37–46.

Morgan, J. M. (1984) Osmoregulation and water stress in higher plants. Annual Reviews Plant Physiology 35: 299-319.

Noroozi, A., Amani Beni, M. and Fotuhi, R. (2009) Effect of drought, salinity and low temperature stresses on growth indexes of Gazania (*Gazania rigens* L.) plant. Horticultural congress Iran sixth: 1078-1080.

Oadreri, M. M., Kurepin, L. V. and Reid, D. M. (2006) Growth and physiological responses of canola (*Brassica napus*) to three components of global climate change: temperature, carbon dioxide and drought. Physiologia Plantarum 128: 710–721.

Pregitzer, K. S., King, J. S., Andrew, J. B. and Brown, E. (2000) Responses of tree fine roots to temperature. New Phytologist 147: 105–115.

Sing, R. P., Chidambara Murthy, K. N., Jayaprakash, G. K. (2002) Studies on the antioxidant activity of pomegranate peel and seed extracts using in vitro models. Agricultural and Food Chemistry 50: 81–86.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.13.5.7]