علوم و تکنولوژی محیط زیست ، شماره ۲۸، بهار ۸۵

بررسي اثر نيكل بر پارامترهاي رشد و ميزان كلروفيل در دو نوع كلزا (*Brassica napus L .*)

اردشير هزارخاني

دانشكده مهندسي معدن، متالورژي و نفت، دانشگاه صنعتي امير كبير

سودابه هزارخاني

مركز تحقيقات زيست محيطي استان تهران

واژه هاي كليدي: نيكل، كلروفيل ، كلزا

چكيده

نيكل به عنوان يكي از فلزات سنگين ، داراي اثرات سمي زيادي در گياهان مختلف بوده كه از جنبه هاي مختلف فيزيولوژيكي ، بيوشيميائي ، مولكولي ، سلولي و ژنتيكي در حال بررسي است. در اين پژوهش اثر سمي تيمارهاي متفاوت $NiCl_2$ برروي برخي از فعاليتهاي فيزيولوژيكي دو نوع كلزا (*Brassica napus* L.) از جمله پارامترهاي رشد در اندام هوايي و ريشه و ميزان كلروفيل در برگها (با غلظت هاي ۰، ۱۰۰، [illegible]۰۰ و [illegible]۰۰ ميكرومولار) در شرايط گلخانه اي در دو نوع *PF* دو صفر و ۴۰۱ *Hyola* مورد بررسي قرار گرفت و نتايج نشان دادند كه با افزايش غلظت نيكل ، سطح برگها ، وزن تر ريشه و اندام هوايي ، وزن خشك ريشه و اندام هوايي ، طول ريشه و طول اندام هوايي و همچنين ميزان كلروفيل ، كاهش يافت. كه اين كاهش در بيشتر پارامترهاي فوق الذكر مورد سنجش در نوع *PF* بيشتر از *Hyola* بود. نتايج حاصل از پارامترهاي بررسي شده در هر دو نوع تفاوت معني داري را در سطح احتمال $P<0/01$ و $P<0/0[illegible]$ نشان دادند. يكي از سازوكارهاي بيوشيميائي موثر در خصوص [illegible] رشد بر پاسخ متفاوت هر دو نوع نسبت به تنش فلز سنگين نيكل را مي توان به تفاوت آنها از نظر ميزان اثر سمي نيكل در اين ارقام نسبت داد. به نظر مي رسد تنش فلز سنگين در گياه قادر به مهار بيوسنتز كلروفيل و تجزيه زيستي آن در نوع هاي مورد مطالعه است.

مقدمه

نیکل عنصر مهم آلاینده محیط زیست، به دلیل اثرات سوء متعدد در گیاه و انسان توجه زیادی را به خود جلب نموده است. این فلز در محلول خاک به عنوان یون (Ni^{2+}) آزاد و کمپلکس‌هایی با لیگاندهای آلی و غیرآلی اشکال می‌گیرد. این فلز با فضولات و فاضلاب شهری ـ صنعتی به شکل کیلیت‌های آلی سیال به محیط (خاک و آب) تخلیه شده و در دسترس گیاهان قرار می‌گیرد [۱] .

خاک‌های قابل کشاورزی در جهان حاوی Ħ-Ĥǵǵǵ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم از خاک می‌باشند. سنگ‌های سولفاته نیکل از معادن زیرزمینی استخراج می‌گردند و طی فرآیندهای آزادسازی، شناورسازی و جداسازی مغناطیسی، نیکل از سنگ معدن خود جدا و توسط زه آبها وارد محیط می گردند. نیکل ممکن است به طور طبیعی در خاک وجود داشته باشد اما بشر با یادگیری صنعت، روز به روز میزان نیکل محیط را افزایش داده است.

با توجه به اینکه گیاه مورد آزمایش، فلزات سنگین از جمله نیکل را در خود انباشته می‌کند، در سال‌های اخیر مورد مطالعه و توجه قرارگرفته است، زیرا در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین از این گیاهان به عنوان گیاهان انباشت‌کننده استفاده، و از فن آلایش زدایی آنها می‌توان در طبیعت آلوده به فلزات سنگین جهت حذف و پاک زدایی اثرات سمی این فلز و تثبیت محیط استفاده نمود. این امر از Ǭǵ جنبه کشاورزی مورد توجه می‌باشد به علاوه چون این گیاه انباشت‌کننده است برای بازیافت فلزات سنگینی مانند نیکل که در بعضی از خاک‌ها بیش از حد معمول موجود است، ضرورت تحقیق را تأیید می‌کند. لازم به یاد آوری است که منابع مطالعاتی بسیار محدودی در سطح جهانی در این زمینه وجود دارد.

نیکل به دستگاه فتوسنتزی تقریباً در هر سطح از سازمان‌بندی‌اش صدمه وارد می‌کند. نیکل در گیاهان به وسیله ترکیبات آلی نظیر اسید آمینه‌ها و اسیدهای آلی، کمپلکس می‌شود. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که مسمومیت یک گیاه توسط نیکل، تنها همانند دیگر فلزات نظیر *Cd* و *Cu* و *Zn* بعد از اضافه شدن عامل کلیت‌کننده مثل *EDTA* به خاک یا محیط کشت، کاهش می‌یابد. جذب کی‌لیت‌های فلزی توسط گیاهان و مسمومیت آنها از جمله کی‌لیت‌های نیکل بر ماهیت شیمیایی عامل کی‌لیت‌کننده و ثابت پایداری کلیت‌ها بستگی دارد[۲] .

کمپلکس‌های آلی نیکل مثل *Ni (II)-Clu* و *Ni (II)-Citrate* و *Ni (II)-EDTA* با غلظت‌های زیاد بر فراساختار کلروپلاست و غلظت کلروفیل برگ کلم اثر منفی دارد. اثرات منفی آنها بر ترکیبات دستگاه فتوسنتز به غلظت نیکل در برگ‌ها و تجمع نیکل در کلروپلاست بستگی دارد، مسمومیت نیکل حاصل از این کمپلکس‌ها به ماهیت عامل کیلیت‌کننده بستگی دارد.

اثر مسمومیت نیکل در طول رشد گیاه منجر به ظهور و منطقه‌بندی نوع علائم مرفولوژیکی صدمه برگ نظیر کلروز (زرد شدن) و نکروز (بافت مردگی) می‌باشد.

همان گونه که قبلاً عنوان شد نیکل باعث کاهش فعالیت فتوسنتز در گیاهان می‌شود. ممکن است کاهش فعالیت فتوسنتز حاصل اختلال واکنش‌های فتوسنتزی بیوشیمیایی و فتوشیمیایی و آسیب دستگاه فتوسنتز در همه سطوح سازمان‌بندی آن باشد[Ď و đ].

مواد و روشها

کشت بذور در گلدانهای پلاستیکی به قطر تقریبی ĥǵ *cm* انجام گرفت. هر گلدان محتوی حدود سه کیلو گرم ماسه بود. در هر گلدان Ĥǵ بذر در عمق Ĥ/Ĭ *cm* از سطح ماسه کاشته شدند. آبیاری با محلول غذائی هوگلند هفته ای سه بار انجام شد، تا شرایط جوانه زنی فراهم گردد. گلدانهای محتوی گیاه در گلخانه ای با شرایط کنترل شده (دما: ĥĬ درجه سانتی گراد ، و شدت روشنائی : ĦĬǵǵ لوکس و دوره روشنائی Ĥ/ĬĬ ساعت و رطوبت نسبی ħǵ-ĥĬ در صد) نگهداری شدند. سپس با رسیدن گیاه به

مرحله Ăوċه اي ĉياğان به محيط كشت ğيدروپونيك (محيط ğوĉلند) منتقل اĦدند وپس از ĉذĦات سه روز به آنها تيمارğاي كلريد نيكل Ĥğğ، Ħğğ، Ťğğ ميكروموěر اĦاافه اĦد. در Ħامن ğر روز دو ساعت ğوا دğي صورت ĉرفت. Σهت بررسي رĦاĦد ĉياه، پس از Ĥğ روز ĉياğان از محيط ğوĉلند خارƧ اĦدند.

Σهت بررسي رĦاĦد ĉياه، پس از Ĥğ روز ĉياğان از محيط ğوĉلند خارƧ اĦدند و بخ ا ğاي زيرزميني ĉياğان با آƙ مقċر استشو داده اĦد و سپس با كاĦĉذ خشك‌كن، خشك ĉرديد و به سرعت توزين بخ ا ğاي مختلف ĉياğي از Σمله ريشه و اندام‌ğاي ğوايي، به منōور بدست آوردن وزن تر اين اندام‌ğا (بر حسƄ ĉرم) انجام اĦد [Ďğđ].

پارامترğاي مختلف از ċبيل Ăوğ ريشه، Ăوğ ساċه بر حسƄ سانتيمتر و سŤă برĉ ğا بر حسƄ سانتيمتر مربĉ در ĉياğان نيƺ پس از ده روز كه ĉياğان از محيط ğيدروپونيك خارƧ اĦدند محاسبه ĉرديد. اندازه‌ĉيري كلروفيل‌ğا با استفاده از روش [٤] صورت ĉرفت.

برĉ معلوم ĉياه را Σدا نموده و پس از توزين، در ğاون Ħيني با Ĥğcc استون Ťğ% سائيده اĦد و محلوğ حاصل با كاĦĉذ صافي و اتمن به وسيله ċيف صاف ĉرديد. ğاون، ċيف و باċيمانده مواد ĉياğي روي كاĦĉذ صافي دوباره با Ĥğml استون Ťğ% اĦسته اĦد و بدين ترتيƄ حجǬ نهايي عصاره به ĥğml رسيد. در اين مرحله Σهت محاسبه تراكǬ كلروفيل‌ğاي a و b كل ƙذΣ محلوğ در Ăوğ موƧğاي ĥħ و ŤĦĦ نانومتر با استفاده از اĦğد (استون Ťğ%) در دستگاه اسپكتروفتومتري با مشخصات *Spectronic GENESYS 5* خوانده اĦد. در نهايت مقادير رنگيƺه‌ğا با توΣه به وزن تر ğر نمونه بر حسƄ ميلي‌ĉرم بر ĉرم وزن تر ارزيابي ĉرديد.

a كلروفيل ĉōĽů$=\%127\times A_{663} - 0/00269 \times A_{645}$

b كلروفيل ĉōĽů $= \%229\times A_{645} - 0/0046 \times A_{663}$

$(a+b)$ كلروفيل كل ĉōĽů $= \%202 \times A_{645}$
$+0/00802\ A_{663}$

در روابط فوق A_{645} و A_{663} به ترتيƄ ميƺان ƙذΣ در Ăوğ موƧğاي ĥħ و ŤĦĦ مي‌باĦند.

در بررسي پارامترğاي رĦاĦد و ميƺان كلروفيل آزمايĦ ğا به صورت فاكتوريل در ċالƄ Ăرţ كاملا تصادفي در ĉهار تكرار انجام اĦد. داده ğاي آزمايĦ با استفاده از روش تجƺيه واريانس مورد تحليل ċرار ĉرفتند و مقايسه ميانگين ğا با استفاده از روش دانكن انجام اĦد.

در اين آزمايشها تيمارğاي كلريد نيكل (ħ تيمار) بعنوان فاكتور A و ارċام كلƺا (دو نوĞ) بعنوان فاكتور B و مرحله Ăوċه اي بعنوان فاكتور C بودند. داده ğاي آزمايĦ با استفاده از روĦهاي تجƺيه واريانس تحليل اĦدند و سپس مقايسه ميانگين ğا با استفاده از روش دانكن انجام ĉرديد.

نتايج

نتايƧ نشان مي دğد كه نيكل اĦرات بازدارندĉي به روي رĦاĦد ĉياğان داĦته است. ميانگين وزن تر برĉ، ساċه و ريشه در اĦر تيمارğاي مختلف نيكل در ğر دو نوĞ *PF* و *Hyola* به Ăور معني‌دار (p< ğ/ğĤ) كاğ Ħ يافت.

ميانگين وزن تر برĉ در ğر دو نوĞ و در تيمارğاي Ĥğğ، Ħğğ و Ťğğ ميكروموěر نيكل در نوĞ *PF* از ğ/ŤĤ ĉرم در Ħاğد به ĦĦ/ğ، ĦĦ/ğ و ğ/Ħħ ĉرم رسيد. كه به ترتيƄ ĦĦ%، ĦĦ% و ĦĦ% كاğ Ħ نسبت به Ħاğد نشان داده‌اند و در نوĞ *Hyola* به ترتيƄ از ğ/Ťğ ĉرم در Ħاğد به ĦĦ/ğ، ĦĦ/ğ و ğ/Ħħ ĉرم رسيد كه به ترتيƄ ğŤ%، ĦĦ% و ĦĦ% نسبت به Ħاğد كاğ Ħ داĦته است.

ميانگين وزن تر ساċه در ğر دو نوĞ و در تيمارğاي Ĥğğ، Ħğğ و Ťğğ ميكروموěر نيكل در نوĞ *PF* به ترتيƄ از ĤŤ/ğ ĉرم در Ħاğد به ĦĦ/ğ، ĦŤ/ğ و ĦĦ/ğ ĉرم رسيد كه به ترتيƄ ĦĦ%، ĤĦ% و ĦĦ% كاğ Ħ نسبت به Ħاğد نشان داده‌اند و در نوĞ *Hyola* به ترتيƄ از ĦĦ/ğ ĉرم در Ħاğد به ħĦ/ğ، ĦĦ/ğ و ğ/Ħħ ĉرم رسيد كه به ترتيƄ ĦĦ %، ħĦ% و ĦĦ% كاğ Ħ نسبت به Ħاğد نشان داده‌اند.

ğمĉنين ميانگين وزن تر ريشه در ğر دو نوĞ و در تيمارğاي Ĥğğ، Ħğğ و Ťğğ ميكروموěر نيكل در نوĞ *PF* از ĤŤ/ğ ĉرم در Ħاğد به ĦĦ/ğ، ĦĦ/ğ و ĦĦ/ğ ĉرم

رسید. که به ترتیƚ ĥĬ%، ĀĬ% و ĀĪ% کاǵ ǀ نسلت به االǵد نشان داده‌اند و در نوŬ *Hyola* به ترتیƚ از ĀĪ/ǵ ťرم در االǵد به ħĪ/ǵ، ĥĪ/ǵ و ǵĪ/ǵ ťرم رسید که به ترتیƚ ĀĪ%، ĤĬ% و ĀĬ% نسلت به االǵد کاǵ ǀ نشان داده‌اند.

سŤă برŨǵاي ťیاǵان در ǵر دو نوŬ با افƺایǀ ůŀŏت نیکل در محلوǧ ůذايي ǵوťلند به Ăور مťني‌دار (Āǵ/ǵ >p) کاǵ ǀ یافته است و میانگین کاǵ ǀ سŤă برŨǵا در ǵر دو نوŬ و تحت تیمارǵاي Ĥǵǵ، Ħǵǵ و Ĭǵǵ میکروموȅر به ترتیƚ در نوŬ *PF* به ĥĪ%، ĤĬ% و ĀĬ% نسلت به االǵد کاǵ ǀ یافته است و در نوŬ *Hyola* به ترتیƚ به ǵĬ%، ħĬ% و ĀĬ% نسلت به االǵد کاǵ ǀ یافت.

با افƺایǀ ůŀŏت نیکل در محلوǧ ůذايي از Ăوǧ ساƺه و ریشه در ǵر دو نوŬ به Ăور مťني‌دار (Ĥǵ/ǵ >p) کاسته الده است.

میانگین Ăوǧ ساƺه در ǵر دو نوŬ و تحت تیمارǵاي Ĥǵǵ، Ħǵǵ و Ĭǵǵ میکروموȅر نیکل در نوŬ *PF* به ترتیƚ از ĀĪ%، ĤĬ% و ħĬ% نسلت به االǵد کاǵ ǀ یافته است و در نوŬ *Hyola* به ترتیƚ از ĀĪ%، ĥĬ% و ħĬ% نسلت به االǵد کاǵ ǀ یافت. (نمودارǵاي Āو Ĥǵ). اƺرات بازدارندťي فلƺ سنگین نیکل بر Ăوǧ ریشه نسلت به Ăوǧ ساƺه بیشتر بود.

میانگین Ăوǧ ریشه در ǵر دو نوŬ و تحت تیمارǵاي Ĥǵǵ، Ħǵǵ و Ĭǵǵ میکروموȅر نیکل در نوŬ *PF* به ترتیƚ از ĀĪ%، ĤĬ% و ĀĬ% کاǵ ǀ نسلت به االǵد داالته است و در نوŬ *Hyola* به ترتیƚ به ĀĪ%، ĥĬ% و ħĬ% کاǵ ǀ نسلت به االǵد نشان داده‌اند. باȅ رفتن ůŀŏت نیکل در محلوǧ ůذايي سƚƚ کاǵ ǀ مťني‌دار (Ĥǵ/ǵ >p) وزن خشك برŨ، ساƺه و ریشه در ǵر دو نوŬ الده است.

میانگین وزن خشك برŨ در ǵر دو نوŬ و تحت تیمارǵاي Ĥǵǵ، Ħǵǵ و Ĭǵǵ میکروموȅر نیکل در نوŬ *PF* به ترتیƚ از ĥĬ%، ħĪ% و ħĬ% کاǵ ǀ نسلت به االǵد نشان داد و در نوŬ *Hyola* به ترتیƚ از ĀĬ%، ĀĪ% و ĥĬ% کاǵ ǀ نسلت به االǵد داالته است.

میانگین وزن خشك ساƺه در ǵر دو نوŬ و تحت تیمارǵاي Ĥǵǵ، Ħǵǵ و Ĭǵǵ میکروموȅر نیکل در نوŬ PF به ترتیƚ از ĀĪ%، ħĪ% و ĀĪ% کاǵ ǀ نسلت به االǵد نشان داده‌اند و در نوŬ *Hyola* به ترتیƚ از ĀĬ%، ĀĪ% و ĦĬ% کاǵ ǀ نسلت به االǵد نشان داده‌اند.

میانگین وزن خشك ریشه در ǵر دو نوŬ و تحت تیمارǵاي Ĥǵǵ، Ħǵǵ و Ĭǵǵ میکروموȅر نیکل در نوŬ *PF* به ترتیƚ از ǵĪ%، ĀĬ% و ĀĪ% نسلت به االǵد کاǵ ǀ نشان داده‌اند. و در نوŬ *Hyola* به ترتیƚ از ĥĪ%، ĦĪ% و ĤĬ% نسلت به االǵد کاǵ ǀ نشان داده‌اند.

میانگین مقدار کلروفیلǵاي *a*، *b* و *(a+b)* با افƺایǀ ůŀŏت نیکل در محلوǧ ůذايي به تدریƨ در ǵر دو نوŬ به Ăور مťني‌دار (Ĥǵ/ǵ >p) کاǵ ǀ یافته است و این کاǵ ǀ در مقدار کلروفیل a بیشتر از *b* مي‌باالد.

در نوŬ *PF* در پائین‌ترین ůŀŏت نیکل (ĤǵǵμM) میانگین مقدار کلروفیل *a*، *b* و *(a+b)* به ترتیƚ ĀĦ%، ĥĦ% و ǵĦ% نسلت به االǵد کاǵ ǀ مشاǵده الده است و در باȅترین ůŀŏت نیکل (ĬǵǵμM) مقدار کلروفیل a، *b* و *(a+b)* به ترتیƚ از ĀĪ%، ĀĬ% و ĥĦ% نسلت به االǵد کاǵ ǀ یافته است و در نوŬ *Hyola* نیƺ در پائین‌ترین ůŀŏت نیکل (ĤǵǵμM) میانگین مقدار کلروفیل *a*، *b* و *(a+b)* به ترتیƚ ĤĬ%، ħĪ% و ĀĪ% نسلت به االǵد کاǵ ǀ مشاǵده الده است و در باȅترین ůŀŏت نیکل (ĬǵǵμM) مقدار کلروفیل *a*، *b* و *(a+b)* به ترتیƚ از ĀĪ%، ĀĪ% و ǵĪ% نسلت به االǵد کاǵ ǀ یافته است.

در نوŬ *PF* میانگین مقدار کلروفیل a در تیمارǵاي Ĥǵǵ، Ħǵǵ و Ĭǵǵ میکروموȅر نیکل به ترتیƚ ĥĪ%، ĀĪ% و ĀĪ% نسلت به االǵد کاǵ ǀ یافت و در نوŬ *Hyola* به ترتیƚ از ǵĬ%، ĀĬ% و ĀĬ% نسلت به االǵد کاǵ ǀ نشان داد.

در نوع PF ميانگين مقدار كلروفيل b در تيمارهاي Ĥğğ، Ħğğ و Īğğ ميكرومولار نيكل به ترتيب از ĥĤ%، ğĪ% و ĪĪ% نسبت به شاهد كاهش نشان داد و در نوع Hyola به ترتيب از ĥĥ%، ħī% و īĤ% نسبت به شاهد كاهش يافت.

در نوع PF ميانگين مقدار كلروفيل a+b در تيمارهاي فوق‌الذكر به ترتيب از ĤĦ%، ĦĪ% و Īħ% نسبت به شاهد كاهش يافت و در نوع Hyola به ترتيب از ĥī%، ħħ% و īī% كاهش نسبت به شاهد مشاهده شد (نمودارهاي ĪĤ و ĥğ).

ميزان پروتئين در اندام هوايي و ريشه گياهان هر دو نوع به طور معني داري (p<ğ/ğĤ) با افزايش غلظت نيكل در محلول غذائي هوگلند افزايش يافت.

بحث و نتيجه گيري

با توجه به نتايج بدست آمده شاخص‌هاي مختلف رشد مانند سطح برگ‌ها، وزن تر ريشه و اندام هوايي، وزن خشك ريشه و اندام هوايي، طول ريشه، طول اندام هوايي در اثر تيمارهاي مختلف نيكل در دو نوع گياهان مورد مطالعه (PF00 و Hyola 401) پس از قرار دادن گياهان رشد يافته در محلول غذايي هوگلند به طور معني دار كاهش يافته است. نتايج مشابهي درباره اثرات بازدارندگي فلزات سنگين از جمله نيكل بر رشد گياهان مختلف بدست آمده است.

در گياه گوجه فرنگي [۵] و در گياهان گندم و برنج [đ] و بر گياه كلم [۷] و بر گياه [۸] اثرات بازدارندگي نيكل را بر رشد گزارش كرده اند.

از جمله اثرات اوليه فلزات سنگين، آسيب غشايي [۹]، تغيير در فعاليت آنزيم‌ها [۱۰] و مهار رشد ريشه [۱۱] است. اين وقايع منجر به اختلال در تعادل هورموني، كمبود عناصر غذايي، مهار فتوسنتز و تغييرات در ارتباطات آبي و غيره شده كه اين اثرات ثانويه موجب كاهش رشد در گياه مي شود [۱۱]. همچنين علت كاهش رشد را به كاهش مقدار آب سلول‌ها و يا به دليل كاهش الاستي سيته ديواره سلول‌ها نسبت داده اند [۱۲].

اثرات مهاركنندگي فلزات سنگين از جمله نيكل بر رشد ريشه بيشتر از اندام هوائي بوده است. در اين زمينه علت كاهش رشد ريشه را در گياه گوجه فرنگي [۵] و بر گياه [۱۲] به حساسيت بسيار بالاي مرستيم رأس ريشه و تقسيم سلولي نسبت به يون‌هاي فلزي سنگين عنوان كرده اند. اثر سمي نيكل در رشد ريشه گياه *Lolium perenne* و در دو گياه *Spirodela polyrrniza* و *Lepidium sativum* گزارش شده است [۱Ď].

فلزات سنگين به وسيله مهار تقسيم سلولي و يا كاهش گسترش سلولي در ناحيه طويل شدن و يا هر دو آنها با هم سبب كاهش طول ريشه مي شوند [۷]. اما مهمترين علت كاهش رشد در گياهان تحت تيمار فلزات سنگين ناشي از آسيب‌هاي اكسيداتيو مي باشد. توليد شكل‌هاي مختلف اكسيژن فعال تحت القاي فلزات سنگين در طي تنش اكسيداتيو، به ليپيدهاي غشاء، پروتئين‌ها، رنگيزه‌ها و اسيدهاي نوكلئيك آسيب وارد كرده و منجر به كاهش آشكاري در رشد گياه مي شود كه در نهايت مي تواند منجر به مرگ گياه هم شود [۱٤]. به طور كلي نيكل با دخالت در واكنش‌هاي فتوسنتزي، تنفس و متابوليسم نيتروژن موجب توليد پايين بيوماس و كاهش رشد در گياهان مي شود [۱۵] و [۱đ].

با بررسي‌هاي انجام شده مي توان چنين نتيجه گرفت كه با افزايش غلظت نيكل در محيط پارامترهاي رشد در هر دو نوع كاهش مي يابد. البته كاهش مشاهده شده در نوع PF قابل ملاحظه تر از نوع Hyola است. بنابراين به نظر مي رسد نوع PF نسبت به نيكل موجود در محيط داراي مقاومت بيشتري نسبت به اثر سمي نيكل موجود در محلول غذايي را دارا مي باشد. و محاسبات آماري در سطح نوع معني دار($p<۰/۰۵$) بوده است.

با توجه به نتايج بدست آمده مقادير كلروفيل‌هاي a ، b و (a+b) در وزن تر برگي تيمارهاي نيكل نسبت به شاهد كاهش يافته است كه در گياهان حاصل از رشد هر

دو نوع کلزا پس از ده روز کشت در محلول غذایی هوگلند در حضور نیکل با سطح احتمال بالایی معنی دار شده است.

نتایج حاصله مطابق با گزارش های متعدد از جمله بر گیاه کلزا [۱۷] و بر گیاه گندم [۵] و بر گیاه گاودار [۱۸] و در گیاه ذرت [۱۹] و بر گیاه جو [۲۰] است. یکی از علل کاهش مقدار کلروفیل، مهار بیوسنتز کلروفیل به وسیله فلزات سنگین است [۲۱].

فلزات سنگین به وسیله مهار آنزیم های γ- امینولوولینیک اسید هیدروژناز و پروتوکلرفیلید ردوکتاز سبب مهار بیو سنتز کلروفیل می شود. این فلزات سنتز γ- آمینولوولینیک اسید و تشکیل کمپلکس آنزیم پروتوکلروفیلید ردوکتاز با سوبسترا را مهار می کند. برهم کنش متقابل نیکل با گروه سولفیدریل آنزیم ها مهم ترین مکانیسم این مهار عنوان شده است[۱۷].

علاوه بر مهار بیوسنتز کلروفیل ها به وسیله فلزات سنگین می توان به تجزیه زیستی کلروفیل در حضور فلزات سنگین اشاره کرد [۲۲]. کاهش مقدار کلرویل می تواند به دلیل آسیب های اکسیداتیو، تحت القای فلزات سنگین از جمله نیکل است [۲۳] و [۲۴].

از اثرات دیگر فلزات سنگین بر بیوسنتز کلروفیل می توان به جانشین شدن فلزات سنگین به جای Mg مرکزی کلروفیل اشاره کرد که این جانشینی سبب کاهش دریافت نور به وسیله کلروفیل گشته و منجر به کاهش فتوسنتز می شود.

نتایج بدست آمده نشان دهنده این مطلب است که متناسب با افزایش فلز سنگین میزان کلروفیل b و a و در برگ های هر دو نوع کاهش می یابد که البته این کاهش در نوع PF چشمگیر تر از $Hyola$ می باشد و محاسبات آماری در سطح نوع معنی دار($p<۰/۰۱$) بوده است.

Reference

1. ***Holger J. Schafer, steffen Greiner, thomas Rausch and Angela Haag-kerwer,*** *(1997). In seeding of the heavy metal accumulator Brassica juncea Cu2+ differentially effects transcript amounts for γ-glutamy-lcysteine synthetase (γ-ECS) and metallo thionein (MTZ). Pages 216-220.*
2. ***Rossato. L, Dantec C. Le, laine. P and ourny. A*** *(2001) Nitrogen storage and remobilization in Brassica napus L. during the growth cycle: pages, 161-180*
3. ***Rugang Li. Roger Rimlaer. Min Yu Andrew G. sharpe. Ginette Seguin- Swartz Derek Iydiate. Dwayne D. Hegedus,*** *(2003) Two Brassica npus polygalacturonase in hibitory protein genes are expressed at different levels in response to biotic and abiotic stresses, planta 217:299-308.*
4. ***Arnon D. I****. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenol oxidase in Beta vulgaris. Plant physiol, 24:1-15*
5. ***Palacios, G., I. Gomez, R. Moral, and J. Mataix,*** *(1995). Nickel accumulation in tomato Plants. Effect on plant growth. Fresenius Environ. Bull. 4:469-474.*
6. ***Patrick Carrier.*** *Aurore Baryla . Michel Havaux , (2003). Cadmium distribution and microlocalization in oilseed rape (Brassica napus) after long growth on cadmium contaminated spil , planta 216-239-250.*
7. ***Nalini pandey, Chandra prakash sharma*** *(2002). Effect of heavy metals Co2+ , Ni2+ and Cd2+ on growth and metabolism of cabbage. Plant science 163:753-758.*
8. ***Dixit, V. Pandey, Shyamr, V****. (2001). Differential antioxidative response to cadmium in root and leaves of pea (pisum sativum L . CV . AZad) .J. of EXP . BOT. 52 (358) : 1101-1109.*
9. ***Kennedy CD, Gonsalves EAN*** *(1987). The action of divalent zinc, cadmium, mercury, copper and lead on transport potential and H+ efflux of excised roots. J Exp Bot 38:800-817.*
10. ***Clijsters H, Van Assche F*** *(1985). Inhibition of photosynthetica heavy metals. Photosyntheticaes 7:41-40.*
11. ***Barcelo J, Vazques M. D. and poschenrieder C.*** *(1988). Structural and ultra structural disorders in heavy metal- treated bush bean plants (phaseolus vulgaris L.) New phytol 108:37-49*
12. ***Costa, G. spitz E.*** *(1997). Influence of cadmium on soluble carbohydrates, free amino acids, protein content of invitro cultured lupinus albus. Plant sci:128:139-140*
13. ***Danguole Montrydiene,*** *Danute Marciulioniene, (2004). Assessment of toxic interaction of heavy metals in a multicomponent mixture using lepidium sativum and spirodela polyrrhiza, laboratory of radioecology, institute of Botany. pp, 127-135.*
14. ***Hegedus A., Erdei S., Horvath G*** *(2001). Comparative studies of*

H_2O_2 detoxifying enzymes in green and greening barley seedings under cadmium stress. Plant Sci. 160: 1085-1093

15. ***Moya J. L., R. Ros & I. picazo** (1993). Influence of Cadmium and Nickel on growth, net photosynthesis and carbohydrate distribution in rice plants, photosynthesis research 36:75-80.*
16. ***Pandolfini T, Gabbriellir, Comparini C** (1992). Nickel toxicity and peroxidase activity in seedings of Triticum aestivum L. plant Cell Environ 15:719-725.*
17. ***Jolanta Molas** (2002). Changes of choroplast ultrastructure and total chlorophyll concentration in cabbage leaves caused by excess of organic Nickel Complexes, Environmental and experimental Botany 47:115-126.*
18. ***Brune, A. and Dietz K. J.** (1995). A comparative analysis of element composition of roots and leaves of barley seedings grown in the presence of toxic cadmium, modybdenum, Nickel and Zinc concentration, J. plant Nutr. 18:853-868.*
19. ***Baccouch S., A. chaoui and E. EI Ferjani** (1998). Nickel toxicity: Effects on growth and metabolism of Maize, Journal of plant nutrition 29(3), 577-588.*
20. ***Hagemeyer, J. and waisel,** (1998). Y. Excretion of ions Ni, Li and NA by Tamarix aphylla, physiol plant, 73:541-546.*
21. ***Dubey R. S.** (1997). Photosynthesis in plants under stressful conditions. In : pessarakli M , (ed) Hand book of photosynthesis . Dekker , New York pp , 859-876 .*
22. ***Moustakas M, Eleftheriou Ep, ouzounidou G** (1997). Short-term effects of aluminum at alkaline pH on the structure and function of the photosynthetic apparatus. Photosynthetica 34:169-177.*
23. ***Krupa Z, Baszynski T** (1995). Some aspects of heavy metal toxicity towards photosynthetic apparatus-direct and indirect effects on light and dark reactions. Acta physiol plant 17:177-190*
24. ***Kupper H, kupper** F, spiller M(1996). Environmental relevance of heavy- metal- substituted chlorophylls using the example of water plants. JEXP Bot 47: 259-266.*