جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلهٔ منابع طبیعی ایران
دورهٔ ۷۳، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۹
ص ۳۰۵-۳۱۵ (پژوهشی)
DOI: 10.22059/jfwp.2020.296819.1074

اثرهای غیرافزایشی ترکیب لاشبرگ‌های کاج سیاه (*Pinus nigra* Arnold) و عرعر (*Ailanthus altissima* Mill.) بر تجزیه و پویایی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها

مریم بیرانوند[۱]، فرهاد قاسمی آقباش[۲*]
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
۲. استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۰۸، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۳۱

چکیده

لاشبرگ گونه‌ها در طبیعت در حالت ترکیبی و در کنار یکدیگر تجزیه می‌شوند. اثرهای ترکیب لاشبرگ‌ها ممکن است در نتیجهٔ روابط متقابل شیمیایی لاشبرگ‌ها، ایجاد تغییرات در خردمحیط تجزیهٔ لاشبرگ‌ها یا ایجاد تغییرات در تنوع میکروارگانیسم‌های شرکت‌کننده در فرایند تجزیه ایجاد شود. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی اثرهای متقابل سوزن‌های کاج سیاه (*Pinus nigra* Arnold) و لاشبرگ عرعر (*Ailanthus altissima* Mill.) با استفاده از روش کیسه‌لاشبرگ در پارک جنگلی شاهد ملایر انجام گرفت. به همین منظور ۱۲۰ کیسه‌لاشبرگ در منطقهٔ تحقیق نصب شد و در مدت ۱۸۰ روز با فواصل زمانی ۳۰، ۶۰، ۱۲۰و ۱۸۰ روز انکوباسیون صورت گرفت. در این تحقیق، اندازه‌گیری مادهٔ آلی از دست‌رفته و اثرهای غیرافزایشی ترکیب لاشبرگ‌ها در خصوص پویایی و آزادسازی عناصر غذایی بررسی شد. نتایج نشان داد که لاشبرگ عرعر نسبت به سوزن‌های کاج سیاه از کیفیت بهتری برخوردار است (مقادیر نیتروژن و نسبت C:N در لاشبرگ عرعر به‌ترتیب: ۶/۴۲ میلی‌گرم بر گرم و ۰/۳۳ و در سوزن‌های کاج به‌ترتیب ۳/۳۱ میلی‌گرم بر گرم و ۰/۷۱). اثرهای غیرافزایشی ترکیب لاشبرگ‌ها بر نرخ تجزیه و پویایی عناصر غذایی سوزن‌های کاج سیاه مانند نیتروژن، فسفر و کلسیم مثبت و در مورد پتاسیم و منیزیم بی‌اثر بود. همچنین اثرهای غیرافزایشی سوزن‌های کاج بر لاشبرگ عرعر در زمینهٔ پویایی نیتروژن منفی و در مورد فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم بی‌اثر بود. براساس نتایج تحقیق، هیچ اثر غیرافزایشی مثبتی در خصوص آزادسازی عناصر غذایی مشاهده نشد. در کل نتایج این پژوهش اثرهای غیرافزایشی مثبت لاشبرگ عرعر بر سوزن‌های کاج سیاه را در خصوص تجزیه و پویایی غلظت‌های نیتروژن، فسفر و کلسیم سوزن‌ها تأیید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آزادسازی عناصر، روابط متقابل، فسفر، کیسه‌لاشبرگ، نرخ تجزیه، نیتروژن.

مقدمه

در بوم‌سازگان‌های جنگلی، تجزیهٔ لاشبرگ، تأثیر اساسی در تنظیم ساختار مواد آلی خاک دارد. از این طریق، عناصر غذایی لاشبرگ‌ها آزاد می‌شود و در اختیار گیاهان قرار می‌گیرد [۱]. بسیاری از تحقیقات نشان داده‌اند که لاشبرگ گونه‌های درختی زمانی که در کنار هم تجزیه می‌شوند، اثرهای غیرافزایشی[1] بر هم دارند که ممکن است مثبت، منفی یا خنثی باشد [۲-۴]. اثرهای غیرافزایشی (اثرهای متقابل هم‌افزایی یا متضاد)[2] بدان مفهوم است که اختلاف

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۲۳۷۹۷۱۷
Email: f.ghasemi@malayeru.ac.ir

1. Non-additive effects
2. Synergistic or antagonistic interactions

کیفیت اولیهٔ لاشبرگ‌ها، تأثیراتی بر لاشبرگ‌های ترکیبی گونه‌ها دارد که ممکن است در نرخی متفاوت با آنچه در مورد لاشبرگ تک‌گونه‌ها رخ می‌دهد بر هم اثر بگذارند [۵]. اثرهای متقابل هم‌افزایی لاشبرگ‌ها در نتیجهٔ وضعیت عناصر غذایی لاشبرگ‌ها یا نبود اختلاف در ترکیبات شیمیایی اولیهٔ لاشبرگ‌ها به‌وجود می‌آید [۱]. اثرهای متقابل متضاد لاشبرگ‌ها نیز اغلب در لاشبرگ‌هایی با عناصر غذایی کم (نیتروژن، فسفر، ترکیبات محلول و کربوهیدرات‌های غیرلیگنینی) و زیاد رخ می‌دهد. در کل در لاشبرگ‌های ترکیبی، تعادل بین این دو اثر (هم‌افزایی و متضاد) سبب بروز اختلافاتی در نرخ تجزیهٔ آنها می‌شود [۶]. اثرهای غیرافزایشی اغلب براساس مقایسهٔ پویایی تجزیهٔ مشاهده‌شده در حالت ترکیبی با مقدار پیش‌بینی‌شده در حالت انفرادی سنجیده می‌شوند. اثرهای ترکیب لاشبرگ‌ها ممکن است در پی ایجاد ارتباطات شیمیایی بین اجزای مختلف لاشبرگ‌ها [۷] یا در نتیجهٔ همراهی میکروارگانیسم‌ها و خرده‌ریزه‌خواران[1] تخصصی در ترکیب لاشبرگ‌ها به‌وجود آید [۸]. خصوصیات شیمیایی لاشبرگ‌ها، مدت زمان انکوباسیون، جانداران خاک و محیط زیست خرد (درجهٔ حرارت و عناصر بیرونی) خط سیر و نقش اثرهای غیرافزایشی را تحت تأثیر قرار می‌دهند [۶]. مطالعات بسیاری در زمینهٔ تجزیهٔ لاشبرگ انفرادی انجام گرفته است. با توجه به اینکه شدت تجزیهٔ لاشبرگ در هر زمان و مکانی ممکن است متفاوت باشد و ابهامات فراوانی دربارهٔ تجزیهٔ لاشبرگ در دو حالت انفرادی و ترکیبی وجود دارد، باید تحقیقات گسترده‌تری در این زمینه صورت گیرد. اطلاعات منتشرشده نشان داده‌اند که در شرایط مختلف، اثرهای ترکیب بر تجزیهٔ لاشبرگ از منفی و بی‌اثر گرفته تا مثبت متغیر بوده است [۹]. تحقیقات در جهان بیانگر این موضوع است که شدت اثرگذاری لاشبرگ‌ها بر همدیگر به کیفیت لاشبرگ‌های ترکیب‌شده بستگی دارد [۲]. اما آنچه در مسئلهٔ ترکیب لاشبرگ‌ها اتفاق می‌افتد این است که قارچ‌ها با تشکیل شبکه‌ای از رشته‌های هیف، موجب انتقال عناصر غذایی از لاشبرگ‌های غنی (نسبت‌های کم C:N و Lignin:N و غلظت‌های زیاد نیتروژن و فسفر) به ضعیف و در نتیجه، تجزیهٔ سریع لاشبرگ‌های ضعیف می‌شوند [۱۰].

قاسمی آقباش و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی پویایی عناصر غذایی لاشبرگ نوئل آمیخته با لاشبرگ‌های راش، توسکا و پلت در تودهٔ دست‌کاشت نوئل منطقه لاجیم دریافتند که ترکیب لاشبرگ‌ها با غنای کارکردی متفاوت، بر پویایی عناصر غذایی لاشبرگ نوئل تأثیر گذاشت، به‌طوری که در مورد معدنی‌سازی نیتروژن و لیگنین لاشبرگ نوئل آمیخته‌شده با پهن‌برگان، این امر کاملاً مشهود بود، بنابراین همین موضوع ممکن است در تجزیهٔ سریع‌تر لاشبرگ نوئل مؤثر باشد [۵]. چن و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی به بررسی اثرهای غیرافزایشی ناشی از ترکیب لاشبرگ‌های یک گونهٔ مهاجم با گونه‌های بومی جنوب چین از منظر نرخ تجزیهٔ لاشبرگ‌ها در طی ۱۸۰ روز انکوباسیون پرداختند. یافته‌ها حاکی از وجود اثرهای غیرافزایشی مثبت از نظر مادهٔ آلی ازدست‌رفته و آزادسازی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها بود. اختلاف در مقدار نیتروژن اولیهٔ لاشبرگ‌ها نتوانست اثرهای خود را در لاشبرگ‌های آمیخته نشان بدهد [۲]. قاسمی آقباش و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی نرخ تجزیه و پویایی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها در حالت ترکیبی، گزارش دادند که انتقال پتاسیم، منیزیم، منگنز و کلسیم از یک لاشبرگ به لاشبرگ دیگر، موجب افزایش تجزیهٔ لاشبرگ ضعیف می‌شود [۱۱]. گائو و همکاران (۲۰۱۶) ضمن بررسی اثرهای غیرافزایشی ترکیب لاشبرگ‌ها در جنگل‌های معتدله چین گزارش دادند که ترکیبات مختلف لاشبرگ‌ها اثرهای مختلفی را نشان خواهند داد. در مقایسه با محیط زیست و ترکیبات لاشبرگ‌ها، کیفیت لاشبرگ‌ها عامل کنترل‌کنندهٔ اصلی نرخ تجزیه است [۱۲]. بنابراین

1. Detritivores

اختلاف در کیفیت اولیهٔ لاشبرگ‌ها ممکن است سبب بروز اثرهایی در تجزیه و پویایی عناصر غذایی لاشبرگ‌های آمیخته شود. این موضوع در تحقیق سونگ و همکاران (۲۰۱۸) نیز بررسی شده است. آنها تأثیر غلظت‌های مختلف نیتروژن لاشبرگ‌ها را درخصوص نرخ تجزیهٔ لاشبرگها، پویایی عناصر غذایی و فعالیت آنزیمی دو گونهٔ گیاهی بررسی کردند.. یافته‌های آنها حاکی از اثرهای غیرافزایشی مثبت بود، به‌طوری که کیفیت اولیهٔ لاشبرگها از نظر غلظت نیتروژن و فعالیت آنزیم پلیفنول اکسیداز بر واکنش‌های انجام‌گرفته در لاشبرگ گیاهی مؤثر بود [۱۳]. گو و همکاران (۲۰۱۹) عملکرد لاشبرگ‌ها با نسبت‌های مختلف نیتروژن به فسفر را در ترکیبات مختلف سوزنی‌برگ – پهن‌برگ بررسی کردند و ضمن گزارش اثرهای غیرافزایشی مثبت، چارچوبی را ارائه دادند که مشخص می‌کند نرخ تجزیه و آزادسازی نیتروژن لاشبرگ‌های آمیختهٔ سوزنی‌برگ – پهن‌برگ به نسبت‌های کیفی اولیهٔ[1] لاشبرگ‌ها بستگی دارد [۱۴]. بازنگری تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که ترکیب لاشبرگ‌ها می‌تواند اثرهای مثبت و منفی غیرافزایشی بر نرخ تجزیه و پویایی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها داشته باشد.

در منطقهٔ تحقیق، دو گونهٔ کاج سیاه و عرعر به‌طور گسترده جنگلکاری شده‌اند. با توجه به اینکه هیچ اطلاعاتی در زمینهٔ وضعیت کیفی و اثرهای متقابل لاشبرگ‌های این دو گونه در حالت خالص و ترکیبی وجود ندارد، پژوهش حاضر سعی دارد با ۱. بررسی اثرهای غیرافزایشی ترکیب لاشبرگ‌ها بر نرخ تجزیه؛ ۲. مقایسهٔ پویایی عناصر غذایی لاشبرگ‌های خالص و آمیختهٔ کاج سیاه – عرعر؛ و ۳. بررسی میزان آزادسازی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها در حالت خالص و ترکیبی، اثرهای متقابل هم‌زایی یا متضاد لاشبرگ‌های عرعر و کاج سیاه را در پارک جنگلی شاهد ملایر مشخص کند.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ تحقیق

تحقیق حاضر در پارک جنگلی شاهد ملایر انجام گرفت. این پارک با مساحت ۱۵۰ هکتار در استان همدان و در جنوب شرقی شهرستان ملایر قرار گرفته است (۳۰۳۷۹۵– ۳۰۱۸۲۹ شرقی و ۳۷۹۴۰۶۹ – ۳۷۹۲۶۴ شمالی). حداکثر ارتفاع از سطح دریای منطقه ۲۰۳۹ متر و حداقل آن ۱۷۸۹ متر است. منطقه دارای شیب متوسط ۱۳ درصد است. براساس آمار هجده‌سالهٔ ایستگاه هواشناسی ملایر (۱۳۹۴–۱۳۷۶)، متوسط دمای سالیانه ۱۳/۳ درجهٔ سانتی‌گراد، میانگین بارندگی سالیانه ۳۵۴/۷ میلی‌متر و توزیع بارش در منطقه اغلب زمستانه است. اقلیم منطقه براساس فرمول آب‌وهوایی آمبرژه نیمه‌خشک است. خاک، عمیق و بافت آن لومی شنی است و اسیدیتهٔ خاک در محدودهٔ خنثی قرار دارد. جنگلکاری در پارک جنگلی شاهد در سال ۱۳۶۹ در سطح حدود ۱۰ هکتار آغاز شد و به‌تدریج در سال‌های بعد مساحت عرصهٔ جنگلکاری‌شده به ۱۵۰ هکتار رسید. از گونه‌های جنگلکاری‌شدهٔ این پارک می‌توان به سرو نقره‌ای، سرو خمره‌ای، کاج سیاه، عرعر، زبان‌گنجشک، توت، نارون، بنه و داغداغان اشاره کرد. زیرآشکوب درختان نیز از خانواده‌های گیاهی *Asteraceae, Rosaceae, Apiaceae, Fabaceae, Poaceae* است [۱۵].

روش پژوهش

در اواخر آبان‌ماه ۱۳۹۷ لاشبرگ گونهٔ عرعر (*Ailanthus altissima* Mill.) بعد از خزان به‌صورت دستی از کف رویشگاه و سوزن‌های گونهٔ کاج سیاه (*Pinus nigra* Arnold) نیز از همهٔ جهات تاج درختان جمع‌آوری شد. لاشبرگ‌های جمع‌آوری‌شده در کیسه‌های پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل شدند تا انکوباسیون شوند. نمونه‌ها بعد از انتقال به آزمایشگاه به‌مدت ۲۴ ساعت در فضای آزمایشگاه خشک شده و سپس براساس نوع لاشبرگ

1. Stoichiometry

تفکیک شدند. در این تحقیق از روش کیسه‌لاشبرگ[1] [۱۶]. استفاده شد. از کیسه‌های لاشبرگ یک‌جیبه برای لاشبرگ‌های انفرادی و دوجیبه برای لاشبرگ‌های ترکیبی، در ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر با منافذ ۲ میلی‌متری از جنس نایلون استفاده شد. در کل از ۸۰ کیسه‌لاشبرگ (۴۰ کیسه‌لاشبرگ انفرادی و ۴۰ کیسه‌لاشبرگ دوجیبه) استفاده شد و در هر کیسه لاشبرگ، در حدود ۱۰ گرم نمونهٔ لاشبرگ خشک‌شده در فضای آزمایشگاه، با توجه به اهداف تحقیق قرار داده شد. کیسه‌های آماده‌شده در پنج تکرار و چهار تیمار (کاج خالص و کاج ترکیبی (کاج + عرعر) در تودهٔ کاج سیاه، عرعر خالص و عرعر ترکیبی (عرعر + کاج) در تودهٔ عرعر) در همان محل جمع‌آوری لاشبرگ‌ها با استفاده از میخ‌های ۱۰ سانتی‌متری برای جلوگیری از جابه‌جایی در کف جنگل نصب شدند. به‌منظور ارزیابی کیفیت اولیه و عناصر غذایی لاشبرگ‌ها از هر نمونه پنج تکرار انتخاب شد که در دمای ۶۵ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت خشک و آزمایش شدند [۱۶]. برداشت کیسه‌های لاشبرگ در فواصل زمانی ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ روز از زمان نصب نمونه‌ها و شروع انکوباسیون به‌مدت شش ماه انجام گرفت. لاشبرگ‌ها در هر دوره پس از انتقال به آزمایشگاه، پاک شده و در آون ۶۵ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت خشک شدند تا به وزن ثابت (وزن ثانویه) برسند. در مرحلهٔ بعد نمونه‌ها با استفاده از آسیاب خرد شدند و در نهایت آنالیزهای شیمیایی در پنج تکرار برای تعیین عناصر غذایی لاشبرگ‌ها مانند نیتروژن، کربن، فسفر، کلسیم، پتاسیم و منیزیم انجام گرفت. سنجش نیتروژن لاشبرگ‌ها با روش کجلدال، تعیین درصد کربن آلی با روش احتراق، اندازه‌گیری پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر، سنجش فسفر با استفاده از روش اولسن و دستگاه اسپکتروفوتومتر و اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم لاشبرگ‌ها نیز با استفاده از روش طیف‌سنج اتمی و دستگاه طیف‌سنج اتمی انجام گرفت.

برای محاسبهٔ وزن (مادهٔ آلی) ازدست‌رفته لاشبرگ‌ها از رابطهٔ وزنی زیر استفاده شد:

$$\text{Mass loss}(\%) = [W_0 - W_t / W_0] \times 100 \qquad (۱)$$

که Mass loss: وزن ازدست‌رفته، W_0: وزن خشک اولیه، و W_t: وزن خشک باقی‌مانده بعد از جمع‌آوری لاشبرگ است.

مقدار آزادسازی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه شد:

$$R\ (\%) = [W_0C_0 - W_t C_t / W_0C_0] \times 100 \qquad (۲)$$

R (%): مقدار آزادسازی عناصر غذایی، W_0 : وزن خشک اولیه، W_t : وزن خشک باقی‌مانده، C_0 : غلظت عناصر غذایی (mg /g) در لاشبرگ اولیه، و C_t : غلظت عناصر غذایی (mg /g) بعد از جمع‌آوری است [۱۷].

روش تجزیه‌وتحلیل آماری

ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف–اسمیرنوف بررسی شد. سپس همگن بودن داده‌ها با استفاده از آزمون لون تأیید شد. مقایسهٔ ترکیبات شیمیایی اولیهٔ لاشبرگ‌های عرعر و کاج سیاه با استفاده از آزمون تی غیرجفتی انجام گرفت. برای مقایسهٔ غلظت‌های عناصر غذایی و همچنین وزن‌های ازدست‌رفتهٔ لاشبرگ‌ها در حالت خالص و ترکیبی در هر توده از آزمون تی جفت شده استفاده شد. برای مقایسهٔ کلی میانگین‌های مربوط به مقادیر آزادسازی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها از آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) و برای مقایسهٔ میانگین گروه‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. همهٔ آزمون‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS Ver. 22 و در سطوح معنی‌داری ۵ و ۱ درصد انجام گرفت.

1. Litterbag

نتایج و بحث

ترکیبات شیمیایی اولیهٔ لاشبرگ‌ها

نتایج حاصل از بررسی ترکیبات شیمیایی اولیه لاشبرگ‌ها نشان داد که به‌غیر از فسفر و کربن در همهٔ عناصر اختلافات معنی‌داری بین دو لاشبرگ بررسی‌شده وجود دارد. لاشبرگ عرعر از نظر غلظت‌های نیتروژن و کلسیم و سوزن‌های کاج سیاه نیز از نظر غلظت‌های منیزیم و پتاسیم و همچنین نسبت C:N بیشترین مقدار را به‌خود اختصاص دادند (جدول ۱). کیفیت اولیهٔ لاشبرگ‌ها شاخص مهمی در تجزیه است [۱۲]. لاشبرگ گونه‌های مختلف خصوصیات منحصربه‌فردی دارند و در نرخی متفاوت با دیگر لاشبرگ‌ها تجزیه می‌شوند [۱۸]. براساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که از نظر کیفیت اولیه، لاشبرگ عرعر بر سوزن‌های کاج سیاه برتری دارد. براساس گزارش‌ها [۱۱، ۱۹، ۲۰] غلظت نیتروژن و نسبت C:N از شاخص‌های مهم کیفیت لاشبرگ است و در تحقیق حاضر نیز، بیشتر بودن غلظت نیتروژن و نسبت C:N در لاشبرگ گونهٔ عرعر، نشان‌دهندهٔ برتری کیفی لاشبرگ آن نسبت به سوزن‌های گونه کاج سیاه است (جدول ۱).

جدول ۱. ترکیب شیمیایی اولیهٔ لاشبرگ گونه‌های بررسی‌شده (میلی‌گرم بر گرم)

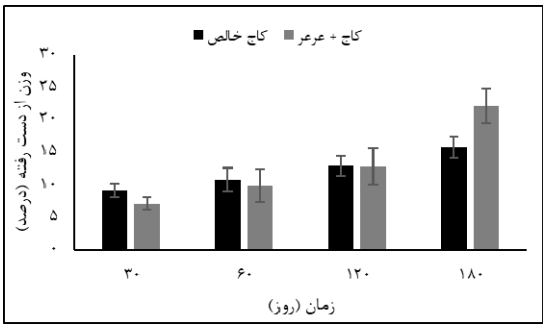
	کاج سیاه	عرعر
	اشتباه معیار ± میانگین	اشتباه معیار ± میانگین
منیزیم	۳/۰±۹۶/۱۱	۱/۳۴ ± ۰/۰۳
پتاسیم	۱۰/۱۰ ± ۰/۴۰	۶/۴۹ ± ۰/۱۲
کلسیم	۶/۶۷ ± ۰/۰۰۴	۲۴/۶۷ ۰±/۶۷
فسفر	۰/۶۷ ± ۰/۰۰۴	۰/۶۸ ± ۰/۰۰۸
نیتروژن	۳/۳۱ ± ۰/۵۸	۶/۴۲ ± ۰/۵۸
کربن	۲/۲۴ ± ۰/۰۰۲	۲/۰۰۹ ± ۰ /۰۰۳
C:N	۰/۷۱ ± ۰/۲۱	۰/۳۳ ± ۰/۰۰۳

وزن از دست‌رفتهٔ لاشبرگ‌ها در حالت خالص و ترکیبی در دو تودهٔ کاج سیاه و عرعر

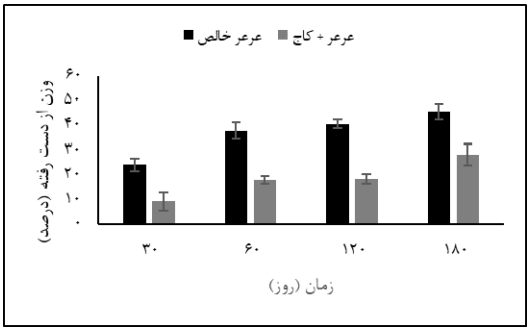
براساس نتایج مشخص شد که در تودهٔ کاج سیاه در پایان دورهٔ انکوباسیون مقدار مادهٔ آلی از دست‌رفتهٔ سوزن‌های آمیختهٔ کاج سیاه با لاشبرگ عرعر نسبت به حالت خالص آن بیشتر است که نشان‌دهندهٔ اثرهای غیرافزایشی مثبت است (شکل ۱ الف). اما در تودهٔ عرعر اثرهای غیرافزایشی منفی سوزن‌های کاج سیاه بر لاشبرگ عرعر در همهٔ زمان‌ها مشاهده شد (شکل ۱ ب). بنابراین در تودهٔ کاج سیاه فقط در پایان مدت زمان انکوباسیون لاشبرگ عرعر که از نظر کیفیت نسبت به سوزن‌های کاج سیاه برتری داشت، توانست بر نرخ تجزیهٔ سوزن‌های کاج سیاه اثر غیرافزایشی مثبت بگذارد. سازوکار انتقال عناصر از لاشبرگ با کیفیت مطلوب (غنی) به لاشبرگ با کیفیت ضعیف، موجب تحریک میکروارگانیسم‌های مؤثر در تجزیه می‌شود و در نتیجه نرخ تجزیهٔ لاشبرگ ضعیف را ارتقا می‌بخشد [۱، ۸]. اثرهای غیرافزایشی مثبت در طول زمان با توجه به تغییر کیفیت لاشبرگ، فعالیت میکروبی و خرداقلیم بستر تجزیهٔ لاشبرگ‌ها تغییر می‌کند [۱۲]. این موضوع در پایان دورهٔ انکوباسیون در تودهٔ کاج سیاه مشاهده شد. در تودهٔ عرعر، لاشبرگ عرعر در حالت خالص از نرخ زیاد آزادسازی عناصر فسفر، منیزیم و کلسیم برخوردار است که در نتیجهٔ آن نسبت به حالت آمیخته با سوزن‌های کاج سیاه از نرخ تجزیهٔ بیشتری نیز برخوردار بوده است. همچنین در این توده مشخص شد که لاشبرگ عرعر در حالت آمیخته با سوزن‌های کاج سیاه

کلسیم بیشتری را تثبیت کرده است که این موضوع نیز دلیلی بر کاهش نرخ تجزیهٔ آن است. این نتیجه کاملاً با یافته‌های پژوهش قاسمی آقباش و همکاران (۲۰۱۲) همسوست. آنها بیان کردند که در مرحلهٔ اول فرایند تجزیه، تثبیت کلسیم رخ می‌دهد [۵]. افزایش آزادسازی کلسیم در آغاز مرحلهٔ آخر فرایند، به تجزیه و تخریب لیگنین بستگی دارد که کنترل فرایند تجزیه را در اختیار خود دارد [۱۶].

الف



ب



شکل ۱. وزن ازدست‌رفته لاشبرگ‌ها در حالت خالص و ترکیبی در دو تودهٔ کاج سیاه و عرعر

پویایی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها و اثرهای غیرافزایشی آنها بر هم

پویایی عنصر نیتروژن در هر چهار تیمار روند افزایشی داشت. این موضوع، مطابق با الگوی عمومی پویایی نیتروژن در فرایند تجزیه است [۱۶]. در تودهٔ کاج سیاه در پایان دورهٔ انکوباسیون، اثرهای ترکیب لاشبرگ‌ها درخصوص غلظت نیتروژن سوزن‌های کاج سیاه غیرافزایشی مثبت بود (جدول ۲). این نتایج با یافته‌های یاجون و همکاران (۲۰۱۵)، قاسمی آقباش و همکاران (۲۰۱۶)، گو و همکاران (۲۰۱۹) و ژانگ و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت داشت [۱، ۱۱، ۱۴، ۲۱]. براساس نظر آنها، سازوکار انتقال نیتروژن از لاشبرگ‌های با مقادیر زیاد نیتروژن به لاشبرگ‌های ضعیف، سبب افزایش غلظت نیتروژن در لاشبرگ‌های ضعیف می‌شود. در تودهٔ عرعر اثرهای غیرافزایشی منفی درخصوص پویایی غلظت نیتروژن لاشبرگ عرعر مشاهده شد (جدول ۲). اثرهای غیرافزایشی ممکن است ناشی از ترکیبات ثانویه مانند ترکیبات فنولیکی در لاشبرگ [۲۱] ایجاد شوند. به این صورت که با ایجاد ترکیب فنول- پروتئین، نیتروژن در لاشبرگ محفوظ شده و در نتیجه از فعالیت آنزیم‌های میکروبی جلوگیری می‌شود [۱]. به نظر می‌رسد این سازوکار در لاشبرگ عرعر در تودهٔ عرعر سبب بروز اثرهای غیرافزایشی منفی باشد. مطابق با الگوی عمومی پویایی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها، غلظت فسفر نیز در هر دو لاشبرگ روند افزایشی داشت [۱۶]. در تودهٔ کاج سیاه، مسئلهٔ انتقال عناصر بین لاشبرگ‌ها با کیفیت‌های متفاوت، در خصوص عنصر فسفر نیز مشاهده شد. به‌طوری که این نقل و انتقال سبب بروز اثرهای غیرافزایشی مثبت در سوزن‌های کاج سیاه شد (جدول ۲). قاسمی آقباش و همکاران (۲۰۱۶) و برگر و برگر (۲۰۱۴) نیز به نتیجهٔ مشابهی در زمینهٔ اثرهای غیرافزایشی مثبت فسفر در ترکیب لاشبرگ‌ها با کیفیت‌های متفاوت رسیدند [۱۱، ۲۲]. برخلاف تودهٔ کاج سیاه، در تودهٔ عرعر چنین اثرهایی مشاهده نشد. در کل دیدگاه عمومی در مورد عنصر فسفر دلالت بر رفتار متفاوت آن در رویشگاه‌ها و لاشبرگ‌های مختلف دارد [۱۱]. به‌مانند غلظت‌های نیتروژن و فسفر، غلظت کلسیم نیز در هر چهار تیمار بررسی‌شده روند افزایشی داشت و تنها در تودهٔ کاج سیاه لاشبرگ عرعر توانست اثر غیرافزایشی مثبت بر روند پویایی غلظت

کلسیم سوزن‌های کاج سیاه داشته باشد (جدول ۲). این یافته با نتایج برگر و برگر (۲۰۱۴) مخالف [۲۲] بود. آنها گزارش کردند که در اثر ترکیب سوزن‌های نوئل (با مقدار کمتر کلسیم) با لاشبرگ راش، غلظت کلسیم سوزن‌ها در حالت ترکیبی کاهش یافت. دلیل این موضوع، همسو با یافته‌های قاسمی آقباش و همکاران (۲۰۱۶)، تثبیت بیشتر کلسیم در سوزن‌های کاج سیاه آمیخته با لاشبرگ عرعر است. زیرا آزادسازی کلسیم به‌علت پیوندهای محکمی که در ساختار دیوارهٔ سلولی با ترکیبات دیگر دارد محتاج فعالیت میکروبی است [۱۶]. کاهش غلظت پتاسیم در طول فرایند تجزیه، نشان‌دهندهٔ آبشویی زیاد این عنصر است [۱۶]. این عنصر برخلاف نیتروژن و کلسیم با ترکیبات پیچیدهٔ آلی هیچ پیوندی برقرار نمی‌کند. در تحقیق حاضر، آبشویی زیاد پتاسیم در مورد هر دو لاشبرگ مشاهده شد (جدول ۲). نتایج تحقیق نشان داد که منیزیم در طول مدت تجزیه با کاهش غلظت مواجه بوده است. البته غلظت منیزیم نسبت به پتاسیم به آرامی کاهش می‌یابد [۱۶]. همچنین در مورد هر دو عنصر اثرهای غیرافزایشی مثبتی مشاهده نشد (جدول ۲). برگر و برگر (۲۰۱۴) گزارش دادند زمانی که سوزن‌های نوئل با لاشبرگ راش ترکیب می‌شوند غلظت منیزیم در سوزن‌های نوئل آمیخته با لاشبرگ راش در مقایسه با حالت خالص کاهش می‌یابد [۲۲].

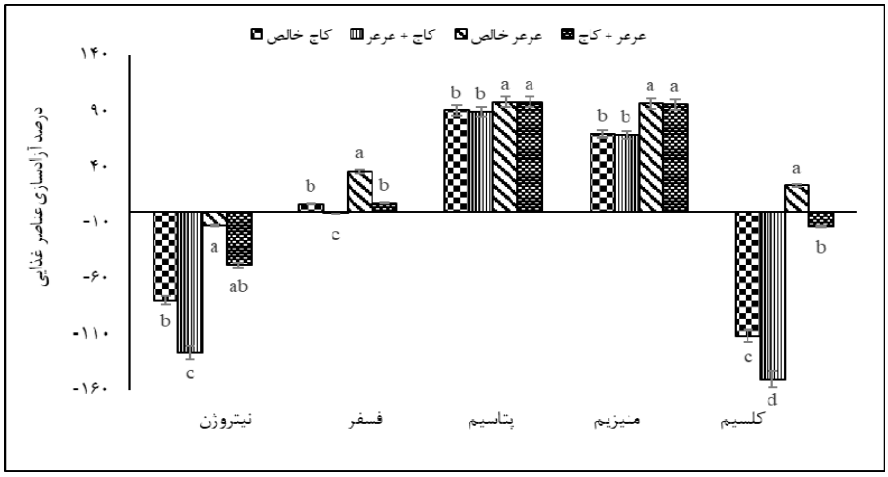
جدول ۲. میانگین (± اشتباه معیار) غلظت‌های عناصر غذایی لاشبرگ‌ها (میلی‌گرم بر گرم) در دو حالت خالص و ترکیبی طی مدت زمان انکوباسیون

عناصر غذایی	توده	لاشبرگ	زمان انکوباسیون (روز)				
			۰	۳۰	۶۰	۱۲۰	۱۸۰
نیتروژن	کاج سیاه	کاج	۳/۲۱ ± ۰/۳۲	۳/۵۰ ± ۰/۵۱	۴/۰۸ ± ۰/۳۵	۴/۳۸ ± ۰/۳۶	۶/۰۷ ± ۰/۳۳
		کاج + عرعر		۴/۶۷ ± ۰/۷۷	۴/۹۶ ± ۰/۳۳	۵/۲۵ ± ۰/۵۱	۷/۹۸ ± ۰/۳۷
	عرعر	عرعر	۶/۴۲ ± ۰/۵۸	۹/۹۲ ± ۰/۲۹	۱۲/۲۵ ± ۰/۶۳	۱۳/۱۲ ± ۰/۷۳	۱۷/۱۷ ± ۰/۵۱
		عرعر +کاج		۸/۷۵ ± ۰/۵۲	۱۰/۷۹ ± ۰/۷۷	۱۱/۳۷ ± ۱/۰۱	۱۲/۸۳ ± ۰/۶۹
فسفر	کاج سیاه	کاج	۰/۶۸ ± ۰/۰۰۴	۰/۶۹ ± ۰/۰۰۱	۰/۷۲ ± ۰/۰۰۷	۰/۷۳ ± ۰/۰۰۶	۰/۷۴ ± ۰/۰۰۵
		کاج + عرعر		۰/۶۹ ± ۰/۰۰۳	۰/۷۳ ± ۰/۰۰۷	۰/۷۴ ± ۰/۰۰۳	۰/۸۹ ± ۰/۰۱
	عرعر	عرعر	۰/۶۸ ± ۰/۰۰۸	۰/۶۸ ± ۰/۰۰۳	۰/۷۳ ± ۰/۰۰۹	۰/۷۳ ± ۰/۰۰۹	۰/۷۷ ± ۰/۰۰۷
		عرعر +کاج		۰/۶۹ ± ۰/۰۰۹	۰/۷۱ ± ۰/۰۰۴	۰/۷۲ ± ۰/۰۰۳	۰/۷۵ ± ۰/۰۰۳
پتاسیم	کاج سیاه	کاج	۱۰/۱۰ ± ۰/۴۰	۷/۸۸ ± ۰/۴۱	۵/۸۸ ± ۰/۳۱	۴/۰۷ ± ۰/۸۰	۱/۱۱ ± ۰/۵۶
		کاج + عرعر		۸/۱۶ ± ۰/۲۴	۶/۷۸ ± ۰/۲۱	۴/۵۶ ± ۰/۷۹	۱/۱۸ ± ۰/۸۳
	عرعر	عرعر	۶/۴۹ ± ۰/۱۲	۴/۳۴ ± ۰/۴۹	۲/۳۲ ± ۰/۱۸	۰/۵۸ ± ۰/۲۷	۰/۲۱ ± ۰/۰۲
		عرعر +کاج		۳/۹۰ ± ۰/۳۵	۱/۹۹ ± ۰/۲۲	۰/۷۱ ± ۰/۳۶	۰/۳۰ ± ۰/۰۵
کلسیم	کاج سیاه	کاج	۶/۶۷ ± ۰/۹۷	۷/۳۴ ± ۰/۳۳	۱۰/۰۰ ± ۰/۱۷	۱۲/۱۷ ± ۰/۱۷	۱۴/۳۲ ± ۰/۵۸
		کاج + عرعر		۸/۶۷ ± ۰/۸۶	۱۰/۷۳ ± ۰/۱۵	۱۳/۲۰ ± ۰/۲۰	۱۸/۳۳ ± ۰/۳۳
	عرعر	عرعر	۲۴/۶۷ ± ۰/۶۷	۲۵/۷۷ ± ۰/۱۵	۲۹/۶۰ ± ۰/۳۱	۳۴/۱۰ ± ۰/۵۵	۳۶/۰۰ ± ۰/۵۸
		عرعر +کاج		۲۶/۱۷ ± ۰/۱۷	۳۰/۲۳ ± ۰/۲۳	۳۴/۶۷ ± ۰/۳۳	۳۷/۳۳ ± ۰/۳۳
منیزیم	کاج سیاه	کاج	۳/۹۶ ± ۰/۱۱	۳/۰۳ ± ۰/۰۴	۱/۲۵ ± ۰/۰۷	۱/۵۳ ± ۰/۰۵	۱/۴۶ ± ۰/۰۶
		کاج + عرعر		۳/۲۱ ± ۰/۰۳	۱/۴۳ ± ۰/۰۴	۱/۵۰ ± ۰/۰۶	۱/۳۸ ± ۰/۰۳
	عرعر	عرعر	۱/۳۴ ± ۰/۰۳	۱/۱۰ ± ۰/۰۷	۰/۵۴ ± ۰/۰۲	۰/۴۷ ± ۰/۰۹	۰/۴۵ ± ۰/۰۳
		عرعر +کاج		۰/۹۴ ± ۰/۰۷	۰/۴۲ ± ۰/۰۲	۰/۴۵ ± ۰/۰۲	۰/۴۵ ± ۰/۰۳

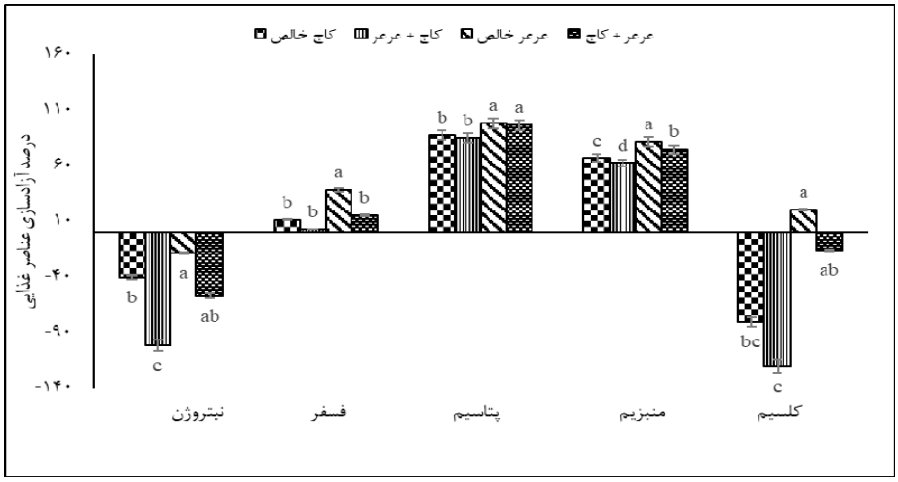
آزادسازی عناصر غذایی در مرحلهٔ آخر فرایند تجزیه

در مورد وضعیت آزادسازی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها، نتایج نشان داد که دو عنصر نیتروژن و کلسیم (به‌جز عرعر خالص و آمیخته در هردو تودهٔ مورد بررسی) تثبیت شدند و در پایان انکوباسیون آزاد نشدند، درحالی که عناصر فسفر، پتاسیم و منیزیم در هردو تودهٔ مورد بررسی با روندی مشابه آزاد شدند (شکل‌های ۲ الف و ۲ ب).

الف



ب



شکل ۲. درصد آزادسازی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها در دو تودهٔ کاج سیاه و عرعر

با شروع مرحلهٔ آخر فرایند تجزیه (گذشت حدود یک سال)، غلظت‌های نیتروژن و کلسیم، تأثیر تعیین‌کننده‌ای در فرایند دارند و با تشکیل لایهٔ هوموس به‌تدریج آزاد می‌شوند و در اختیار گیاهان برای رشد قرار می‌گیرند [۱۶]. همسو با نتایج گائو و همکاران (۲۰۱۹) و قاسمی آقباش و همکاران (۲۰۱۲) [۵، ۱۴] یافته‌های این تحقیق نیز نشان داد که آزادسازی نیتروژن لاشبرگ‌ها در حالت ترکیبی (سوزنی‌برگ و پهن‌برگ) براساس نسبت‌های کیفی لاشبرگ‌ها تعیین می‌شود. به‌طوری که در هر دو ترکیب لاشبرگ‌ها در هر دو توده، تثبیت نیتروژن مشاهده شد. دیگر نتایج آزادسازی

عناصر غذایی نشان داد که در پایان دورهٔ انکوباسیون، در همهٔ تیمارها و در دو توده، عناصر فسفر، پتاسیم و منیزیم معدنی شده بودند که دلیل آن، تحرک زیاد فسفر و همچنین آبشویی زیاد دو عنصر پتاسیم و منیزیم است [۱۶].

نتیجه‌گیری

در کل نتایج این پژوهش نشان داد که اثرهای غیرافزایشی ترکیب لاشبرگ عرعر با سوزن‌های کاج سیاه در تودهٔ کاج سیاه، در خصوص مادهٔ آلی از دست‌رفته، پویایی غلظت‌های نیتروژن، فسفر و کلسیم سوزن‌های کاج سیاه مثبت بود. پیشنهاد می‌شود تحقیقات مشابهی در دیگر مناطق کشور نیز انجام گیرد و در صورت دستیابی به نتایج مشابه و با انجام بررسی‌های بوم‌شناختی دیگر، گونهٔ عرعر به‌عنوان یکی از گونه‌های همراه کاج سیاه در جنگلکاری‌های آمیختهٔ این گونه پیشنهاد شود.

References

[1]. Yajun, X., Yonghong, X., Xinsheng, Ch., Feng, L., Zhiyong, H., and Xu, L. (2015). Non-additive effects of water availability and litter quality on decomposition of litter mixtures. Journal of Freshwater Ecology, 31(2): 153-168.

[2]. Chen, B-M., Peng, S-L., D'Antonio, C.M., Li, D-J., and Ren, W-T. (2013) Non-Additive Effects on Decomposition from Mixing Litter of the Invasive Mikania micrantha H.B.K. with Native Plants. PLoS ONE, 8(6): 1-10.

[3]. Gartner, T.B., and Cardon, Z.G. (2004). Decomposition dynamics in mixed-species leaf litter. Oikos, 104:230-246.

[4]. Lecerf, A., Marie, G., Kominoski, J.S., LeRoy, C.J., and Bernadet, C. (2011). Incubation time, functional litter diversity, and habitat characteristics predict litter-mixing effects on decomposition. Ecology, 92: 160-169.

[5]. Ghasemi Aghbash, F., Jalali, Gh.A., Hosseini, V., Hosseini, S.M., and Berg, B. (2012). Nutrient dynamic of Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst) litter mixed with litter of Beech (*Fagus orientalis* lipsky), Alder (*Alnus subcordata* C.A.Meyer) and Maple (*Acer velutinum* Boiss.) in pure Norway spruce plantation of Lajim site. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 2: 286-298.

[6]. Jiang, Y.F., Yin, X.Q., and Wang, F.B. (2013). The influence of litter mixing on decomposition and soil fauna assemblages in a *Pinus koraiensis* mixed broad-leaved forest of the Changbai Mountains, China. European Journal of Soil Biology, 55: 28-39.

[7]. Schimel, J.P., and Hattenschwiler, S. (2007). Nitrogen transfer between decomposing leaves of different N status. Soil Biology and Biochemistry, 39: 1428-1436.

[8]. Gessner, M.O., Swan, C.M., Dang, C.K, McKie, B.G., Bardgett, R.D., Wall, D.H., and Hattenschwiler, S. (2010). Diversity meets decomposition. Trends in Ecology and Evolution, 25: 372-380.

[9]. Gartner, T.B., and Cardon, Z.G. (2004). Decomposition dynamics in mixed-species leaf litter. Oikos, 104: 230-246.

[10]. Yin, N., and Koide, R.T. (2019). The role of resource transfer in positive, non-additive litter decomposition. Plos, 1. 14(11): 1-19.

[11]. Ghasemi Aghbash, F., Hosseini, V., and poureza, M. (2016). Nutrient dynamics and early decomposition rates of *Picea abies* needles in combination with *Fagus orientalis* leaf litter in an exogenous ecosystem. Annals of Forest Research, 59(1): 21-32.

[12]. Gao, J., Kang, F., and Han, H. (2016). Effect of litter quality on leaf-litter decomposition in the context of home-field advantage and non-additive effects in temperate forests in China. Polish Journal of Environmental Studies, 25(5): 1911-1920.

[13]. Song, Y., Song, C.H., Ren, J., Tan, W., and Jin, L. (2018). Influence of nitrogen additions on litter decomposition, nutrient dynamics, and enzymatic activity of two plant species in a peatland Northeast China. Science of the Total Environment, 625: 640-646.

[14]. Guo, Ch., Hans, J., Cornelissen, C., Zhang, Q.Q., and Ya, E.R. (2019). Functional evenness of N-to-P ratios of evergreen-deciduous mixtures predicts positive non-additive effect on leaf litter decomposition. Plant Soil, 436: 299-309.

[15]. Ghasemi Aghbash, F. (2018). Soil carbon sequestration and understory plant diversity under needle and broad-leaved plantations (case study: Shahed forest park of Malayer city). Ecopersia, 6(1): 1-10.

[16]. Berg, B., and McClaugherty, C. (2014). Plant litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration, third edition. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. 315P.

[17]. Guo, L.B., and Sims, R.E.H. (1999). Litter decomposition and nutrient release via litter decomposition, New Zealand eucalypt short rotation forests. Agriculture, Ecosystems and Environments, 75: 133-140.

[18]. Hoorens, B., Stroetenga, M., and Aerts, R. (2010). Litter mixture interactions at the level of plant functional types are additive. Ecosystems, 13: 90-98.

[19]. Rahman, M.M., Tsukamoto, J., Tokumoto, Y., and Shuvo, M.A.R. (2013). The role of quantitative traits of leaf litter on decomposition and nutrient cycling of the forest ecosystems. Journal of Forest Science, 29: 38-48.

[20]. Li, Sh., Tong, Y., and Wang, Zh. (2017). Species and genetic diversity affect leaf litter decomposition in subtropical broadleaved forest in southern Chin. Journal of Plant Ecology, 10(1): 232-241.

[21]. Zhang, L., Zhang, Y., Zou, J., and Siemann, E. (2014). Decomposition of *Phragmites australis* litter retarded by invasive *Solidago canadensis* in mixtures: an antagonistic nonadditive effect. Scientific report, 4: 5488.

[22]. Berger, T., and Berger, P. (2014). Does mixing of beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*) litter hasten decomposition? Plant Soil, 377: 217-234.

Non-additive effects of European black pine (*Pinus nigra* Arnold) and tree of heaven (*Ailanthus altissima* Mill.) mixed leaf litters on decomposition and nutrient dynamics of leaf litters

M. Beyranvand; MSc. Student of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, I.R. Iran

F. Ghasemi Aghbash*; Assist., Prof., Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, I.R. Iran

(Received: 28 January 2020, Accepted: 19 April 2020)

ABSTRACT

In nature, Leaf litter of different plant species is typically mixed and the mixtures decompose together. Leaf litter mixing effects may be caused by chemical interactions between the component leaf litters, by changes in the microenvironment in which the litter is decomposed or by changes in the diversity of associated microorganisms. The purpose of this study was to evaluate the interactions between black pine needles and tree of heaven litters using the litterbag method in Shahed's forest park of Malayer. For this purpose, 120 litterbags placed in the study area and incubated for 180 days at 30, 60, 120 and 180 days. In this study, mass loss was measured and non-additive effects of litter composition was studied regarding the nutrient dynamics and release. The results showed that tree of heaven litter had a higher quality than black pine needles (nitrogen values and C: N ratio of tree of heaven litter were 6.42 mg/g and 0.33 while the values for pine needles were 3.31 mg/g and 0.71, respectively). The non-additive effects of litter mixtures regarding the rate of decomposition and nutrient dynamics of black pine needles such as nitrogen, phosphorus and calcium were positive and neutral for potassium and magnesium. In addition, the non-additive effects of pine needles on the tree of heaven litter was negative in terms of nitrogen dynamics and were neutral regarding phosphorus, potassium, calcium and magnesium. According to the results of the study, no positive non-additive effects was observed on nutrient release. Overall, the results of this study confirmed the positive non-additive effects of tree of heaven litter on black pine needles in terms of the decomposition, dynamics of nitrogen, phosphorus and calcium concentrations of the needles.

Keywords: Decomposition rate, interactions, litterbag, nitrogen, nutrients releasing, phosphorus.

*Corresponding Author, Email: f.ghasemi@malayeru.ac.ir, Tel: +98 9122379717