نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 9، شماره 4، زمستان 1396، ص. 1083-1070

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 4, Winter 2018, p. 1070-1083

ارزیابی تأثیر کودهای شیمیایی و دامی بر تولید خالص اولیه، تنفس خاک و بیلان کربن در بوم‌نظام زراعی گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط آب و هوایی مشهد

یاسر علی‌زاده[1]، علیرضا کوچکی [2*] و مهدی نصیری محلاتی[2]

تاریخ دریافت: 1391/10/30
تاریخ پذیرش: 1392/09/23

علی‌زاده، ی.، کوچکی، ع.، و نصیری محلاتی، م. 1396. ارزیابی تأثیر کودهای شیمیایی و دامی بر تولید خالص اولیه، تنفس خاک و بیلان کربن در بوم‌نظام زراعی گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط آب و هوایی مشهد. بوم‌شناسی کشاورزی، 9(4):1083- 1070.

چکیده

این مطالعه به‌منظور بررسی بیلان کربن و مطالعه اثر کودهای شیمیایی و دامی بر تولید خالص اولیه، تنفس خاک و بیلان کربن در گندم پاییزه (*Triticum aestivum* L.) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در دو سال زراعی 90-1389 و 91-1390 انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل؛ 150 کیلوگرم نیتروژن (F_1)، 250 کیلوگرم نیتروژن (F_2)، کود دامی (M)، مخلوط کود دامی و 150 کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن (F-M)، تیمار شاهد (C) و یک تیمار بدون گیاه و بدون استفاده از کود، برای جداسازی تنفس هتروتروفی از تنفس خاک در نظر گرفته شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. بیلان کربنی در هر دو سال با استفاده از تکنیک‌های اکولوژیک برآورد گردید. تولید خالص اولیه در تیمار F-M و F_2 به‌ترتیب با 6294 و 6467 کیلوگرم در هکتار در سال اول و 6410 و 6260 کیلوگرم در هکتار در سال دوم به‌طور معنی‌داری بالاتر از تیمارهای دیگر بود و کمترین میزان تولید خالص اولیه در دو سال آزمایش در تیمار شاهد با 2965 و 2740 کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. بالاترین نسبت ساقه به ریشه (6) نیز در تیمار F_2 مشاهده شد و کمترین میزان ساقه به ریشه در تیمار کنترل با 5/2 و 5/1 به‌ترتیب در سال اول و دوم به‌دست آمد. روند جریان دی-اکسید کربن 250، 220، 200، 170، 160 و 55 میلی‌گرم کربن در مترمربع در ساعت به‌ترتیب در تیمارهای F-M، M، F_2، F_1 و تیمار بدون گیاه به-دست آمد. بالاترین تنفس سالانه خاک و تنفس هتروتروفی خاک در تیمار M-F به‌ترتیب با 3257 و 1150 کیلوگرم کربن در هکتار در سال اول و 3310 و 1250 کیلوگرم کربن در هکتار در سال دوم مشاهده شد و کمترین میزان تنفس خاک و تنفس هتروتروفی نیز در تیمار شاهد به‌ترتیب با 1878 و 745 کیلوگرم کربن در هکتار در سال اول و 1753 و 740 کیلوگرم کربن در هکتار در سال دوم آزمایش مشاهده گردید. بیشترین میزان تولید خالص اکوسیستم (NEP) در سال اول و دوم 5000 کیلوگرم کربن در هکتار بود که در تیمار M-F حاصل شد و کمترین آن در هر دو سال مربوط به تیمار شاهد با 2065 و 1825 کیلوگرم کربن در هکتار در سال بود. تولید خالص بیوم (NBP) تنها در تیمارهایی که کاربرد کود دامی داشتند مثبت بود و در بقیه تیمارها بیلان کربنی منفی مشاهده شد، به‌طوری‌که، بیشترین کاهش کربن در سال اول با 300 کیلوگرم کربن در هکتار و در سال دوم با 400 کیلوگرم کربن در هکتار در تیمار شاهد مشاهده شد و تیمار M با 1400 و 1200 کیلوگرم در هکتار افزایش سالانه کربن بالاترین تولید خالص بیوم را داشت. نتایج به‌دست آمده از این آزمایش نشان داد که در صورت برداشت از اندام هوایی گندم به شکل رایج برای جلوگیری از کاهش کربن آلی خاک کاربرد کود دامی ضروری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تنفس هتروتروفی، تنفس خاک، تولید خالص بیوم، تولید خالص اکوسیستم

مقدمه

از زمان شروع انقلاب صنعتی غلظت گاز دی اکسید کربن در اتمسفر از 270 به بیش از 380 قسمت در میلیون رسیده است و به نظر می‌رسد تا اواخر قرن 21 به 600 قسمت در میلیون برسد که این امر باعث افزایش دمای سالیانه زمین به میزان 1 تا 4/5 درجه سانتی-گراد می‌گردد (Korner, 2003). خودریان (Goudriann, 1995) بیان نمود که غلظت CO_2 اتمسفر با سرعتی معادل 2/4 درصد در

1 - 1، 2 و 3- به‌ترتیب استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه ایلام (دانش‌آموخته سابق دکتری دانشگاه فردوسی مشهد) و استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email:akooch@um.ac.ir
DOI:10.22067/JAG.V9I4.51341

سال در حال افزایش است، که این امر باعث بالا رفتن درجه حرارت و تغییر الگوهای بارندگی در مناطق مختلف جهان شده و در نتیجه در آینده بر کارکرد بوم‌نظام‌های زراعی و تولید محصولات مختلف، تأثیر خواهد گذاشت (Nassiri et al, 2006). در این راستا بخش کشاورزی حدود 10-12 درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای را شامل می‌گردد که این سهم با افزایش اراضی زیر کشت و فشردگی مدیریت‌ها در اکوسیستم‌های کشاورزی جهان رو به افزایش می‌باشد (Osborne et al., 2010). بررسیِ منبع یا مخزن بودن اکوسیستم‌های کشاورزی چه تحت تأثیر اثرات طبیعی و چه متاثر از روش‌های مدیریت، نقش مهمی را در راستای مطالعات برای تخفیف[1] و سازگاری[2] به تغییرات اقلیمی ذکر شده ایفا می‌کند و تنها در صورت پیدا کردن بینش درستی از تبادلات گازهای گلخانه‌ای بین اتمسفر و اکوسیستم زمینی می‌توان به استفاده پایدار از اکوسیستم‌های کشاورزی امیدوار بود (Katrin Prescher et al., 2010; Beziat et al., 2009; Soussana et al., 2007). برآورد بیلان کربن در اکوسیستم‌های زراعی یکی از راهکارهای اساسی برای درک این موضوع است که آیا یک اکوسیستم زراعی در منطقه‌ای مشخص، منبع دی‌اکسید کربن یا مخزن آن می‌باشد (Twine & Kucharik., 2009) و از آن‌جایی‌که در نظام‌های زراعی، تنوع محصولات، سیستم‌های زراعی متنوع و عملیات کشاورزی مختلف وجود دارد، بنابراین برآوردهای اختصاصی تخمین کربن برای هر منطقه مورد نیاز است (Lehuger et al., 2010).

بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه بیلان کربن با استفاده از تکنیک‌های هواشناسی[3] (از قبیل Eddy covariance) می‌باشد که این تکنیک‌ها به‌طور مستقیم و مداوم تبادلات کربنی بین اکوسیستم خاکی و اتمسفر را اندازه‌گیری می‌کنند (Katrin Prescher et al., 2010; Wofsy et al., 1993)، اما نتایج حاصل از این روش‌ها به میزان بالایی با عدم قطعیت روبه رو می‌باشد (Massman & Lee., 2002). استفاده از تکنیک‌های هواشناسی به تنهایی شرح جامع و کاملی از تغییرات سالانه و فصلی بیلان کربن برای پیش‌بینی منبع یا مخزن بودن یک اکوسیستم برای کربن ارائه نمی‌دهد و یک روش اکولوژیک می‌تواند در بررسی دقیق تغییرات کربنی در اکوسیستم بسیار مؤثر باشد (Shimizu et al., 2009). افزایش و کاهش کربن در اکوسیستم، تولید خالص اکوسیستم[4] (NEP) گفته می‌شود. به‌طور کلی اگر یک اکوسیستم را گیاهان زنده، گیاهان مرده و خاک در نظر بگیریم که گیاهان دی اکسیدکربن را از اتمسفر جذب کرده و مواد آلی تولید می‌کنند که بخشی از این مواد آلی به خاک بر می‌گردد. مواد آلی در پیکره گیاهان مرده باقی‌مانده و به کمک تجزیه میکروارگانیسم‌ها، به خاک برمی‌گردد که این میکروارگانیسم‌های خاک در نتیجه فرآیند تنفس میزانی از کربن را آزاد کرده و به اتمسفر باز می‌گردانند، بنابراین، تولید خالص اکوسیستم از کربن خالص جذب شده توسط گیاه (تولید خالص اولیه[5] NPP) منهای تنفس هتروتروفی[6] (RH) تخمین زده می‌شود. البته دی‌اکسیدکربن متصاعد شده از خاک تنها مربوط به تنفس هتروتروفی نبوده و دی‌اکسیدکربن حاصل از تنفس ریشه گیاهان[7] (RR) نیز جزیی از آن می‌باشد که مجموع تنفس هتروتروفی و تنفس ریشه گیاهان، تنفس خاک[8] (RS) نامیده می‌شود (Hanson et al., 2000). انتقال کربنی ذکر شده تا کنون تنها انتقال عمودی می‌باشد در صورتی‌که در اکوسیستم‌های کشاورزی ما ورود و خروج افقی کربن نیز از طریق عملیاتی نظیر برداشت و دادن کودهای آلی به خاک انجام می‌گیرد که برآورد مجموع ورود و خروج کربن را تولید خالص بیوم[9] (NBP) می‌نامند (Kutsch et al., 2010 ، Schulze et al., 2000).

با توجه به محتوی پایین ماده آلی در خاک‌های کشاورزی در کشور و نبود اطلاعات کافی و مستند از وضعیت تبادلات کربنی در مدیریت‌های زراعی مختلف هدف از این آزمایش، ارزیابی تأثیر کود نیتروژن و کود دامی بر میزان تولید خالص اولیه، تنفس خاک و بیلان کربنی در اکوسیستم زراعی گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط آب و هوایی مشهد بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در 10 کیلومتری شرق مشهد با عرض جغرافیایی 36

1- Mitigation
2- Adaptation
3- Micrometeorological assessment techniques

4- Net ecosystem production
5- Net primary production
6- Heterotrophic respiration
7- Root respiration
8- Soil respiration
9- Net biome production

درجه و 16 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 59 درجه و 36 دقیقه شرقی و ارتفاع 985 متری از سطح دریا. در دو سال زراعی 90-1389 و 91-1390 اجرا شد. متوسط بارندگی سالیانه محل آزمایش 286 میلی‌متر و حداکثر و حداقل دمای مطلق سالانه در این منطقه به‌ترتیب 42 و 27/8- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. مزرعه مورد آزمایش در سال قبل از شروع آزمایش تحت کشت گندم بوده است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه و کود دامی (گاوی) استفاده شده در جدول 1 و 2 آورده شده است.

جدول 1-خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش
Table 1- Physico-chemical properties of the soil of field

بافت	نیتروژن (درصد)	فسفر(میلی-گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	اسیدیته	کربن آلی (درصد)
Texture	N(%)	P(mg.kg^{-1})	K(mg.kg^{-1})	EC (dS.m^{-1})	pH	Organic carbon (%)
لومی رسی Clay-Loam	0.0164	13.8	122	3.36	7.46	0.55

تیمارها و طرح آزمایشی

تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح کود شیمیایی نیتروژن، 150 و 250 کیلوگرم در هکتار (F_1 و F_2)، یک سطح کود دامی، 10 تن در هکتار (M)، 150 کیلوگرم کود شیمیایی نیتروژن به همراه 10 تن در هکتار کود دامی (F-M) و تیمار کنترل (C) بدون استفاده از هر نوع کودی بود که در قالب طرح بلوک‌های کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. همچنین در هر تکرار، یک کرت آزمایشی بدون گیاه، به منظور جداسازی تنفس هتروتروفی از تنفس ریشه در نظر گرفته شد. کرت‌هایی به ابعاد 3×2 مترمربع و در هر کرت 10 خط کاشت به فاصله 20 سانتی‌متر از یکدیگر ایجاد شده و بذر گندم به فاصله 1/3 سانتی‌متر روی خط کاشت (تراکم 400 بوته در مترمربع) و عمق 2-3 سانتی متر، در اوایل آبان ماه سال 89 و 90 کاشته شد. آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و بعد از آن هر 15 روز یکبار به‌صورت نشتی صورت گرفته و از 15 اسفند آبیاری هر 7 روز یک‌بار انجام شد. کود دامی به‌طور کامل در زمان کاشت به مزرعه داده شد

جدول 2- خصوصیات کود دامی استفاده شده در دو سال آزمایش
Table 2- Physico-chemical properties of the manure

سال	نیتروژن (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	اسیدیته	کربن آلی
Year	N (%)	P (%)	K (%)	pH	Organic carbon (%)
1389-90 2010-2011	1.2	3.5	1.4	7.4	28
1390-91 2011-2012	1.3	3.3	1.4	7.3	28

کود نیتروژنه به صورت اوره در دو مرحله به مزرعه داده شد در مرحله اول 50 درصد کود نیتروژن و نیم دیگر در زمان ساقه رفتن گندم داده شد. که در سال دوم نیز تیمارها و عملیات کاملاً مشابه بود و عیناً تکرار گردید.

تولید خالص اولیه

کل بیوماس گیاه به دو بخش بالا و پایین سطح زمین تقسیم شده که در پایان فصل رشد برداشت شده و اندازه گیری گردید. بیوماس بالای سطح زمین شامل بخش‌های زنده و مرده گیاه باهم بود که از پنج سانتی‌متری سطح زمین با کوادرات‌های 100 ×100 سانتی‌متری برداشت گردید و سپس در دمای 70 درجه آون به مدت 72 ساعت خشک گردیده و سپس بخش دانه و بیوماس گیاه هریک به‌طور جداگانه وزن گردید. ریشه نیز به‌طور کامل از خاک خارج شده

و با استفاده از غربال با مش پنج میلی‌متر کاملاً گل و لای چسبیده به ریشه شسته و پاک شده و سپس در دمای 70 درجه آون به‌مدت 72 ساعت خشک گردیده و وزن شد.

سپس میزان تولید خالص اولیه بر اساس کربن (NPP_c) از طریق معادله 1 محاسبه شد:

$NPP_c = C_P + C_S + C_R + C_E$ معادله (1)

بر اساس منابع مختلف در هر گرم ماده خشک حدود 0/45 گرم کربن (45 درصد) موجود می‌باشد (Bolinder et al, 2007). بنابراین برای محاسبه میزان کربن موجود در بخش‌های مختلف گیاه (اندام اقتصادی، کاه و کلش و ریشه) که در شکل 1 نشان داده شده است، از معادله‌های 2 تا 5 استفاده گردید:

C_P = عملکرد اندام اقتصاد × 0/45 معادله (2)

C_S = کل بیوماس -عملکرداقتصادی ×0/45 معادله (3)

C_R = ریشه ×0/45 معادله (4)

$C_E = C_R \times 0/65$ معادله (5)

که در این معادلات NPP_c: تولید خالص اولیه بر اساس کربن در کل گیاه، C_S: کربن موجود در کاه و کلش، C_P: کربن موجود در اندام اقتصادی، C_R: کربن موجود در ریشه و C_E: کربن ترشحات ریشه و کربن غیر قابل محاسبه می‌باشد که مقدار این کربن بر اساس منابع مختلف (Bolinder et al., 2007) حدود 65 درصد کربن موجود در ریشه در نظر گرفته شد. همچنین تولید خالص اولیه بر اساس کربن برای اندام هوایی [1]($ANPP_c$) و زیرزمینی [2]($BNPP_c$) نیز به‌ترتیب از میزان کربن اختصاص یافته به اندام‌های هوایی (شامل C_S و C_P) و زیرزمینی (شامل C_R و C_E) برآورد شد. همچنین سهم نسبی هر کدام از اندام‌های مختلف گیاهی از تولید خالص کربن با استفاده از معادلات 6 تا 9 محاسبه گردید:

$R_P = C_P / NPP_c$ معادله (6)

$R_S = C_S / NPP_c$ معادله (7)

$R_R = C_R / NPP_c$ معادله (8)

$R_E = 1- (R_P + R_S + R_R)$ معادله (9)

که در این معادلات، R_P، R_S، R_R و R_E: به‌ترتیب نشان‌دهنده سهم نسبی اندام اقتصادی، کاه و کلش، ریشه و ترشحات و بقایای مرده ریشه از کل کربن موجود در گیاه می‌باشند.

1- Above-ground net primary production (ANPP)
2- Below-ground net primary production (BNPP)

اندازه‌گیری جریان دی‌اکسیدکربن از خاک

دی‌اکسیدکربن انتشار یافته از سطح خاک از روش محفظه بسته[3] (Crill, Melling & Hatano, 2005; Toma & Hatano, 2007; 1991) در تیمارهای کود شیمیایی، کود دامی و تیمارهای کنترل ریشه اندازه‌گیری شد. قابل ذکر است که تیمار بدون گیاه عاری از ریشه هر نوع گیاهی بود و این کنترل با دست انجام گرفت و هیچ‌گونه کود نیز در آن به کار نرفت. اندازه‌گیری انتشار دی‌اکسید کربن 6 بار در طول فصل رشد انجام گرفت و این اندازه‌گیری‌ها به منظور کم کردن اثر خطای تغییرات دمای روزانه بین ساعت 8 الی 11 صبح انجام گرفت (Shimizu et al., 2009). طول و قطر محفظه‌ها به‌ترتیب 50 و 30 سانتی متر بودند که لبه‌های آن در زمان نمونه برداری سه سانتی‌متر در خاک فرو داده می‌شد به شکلی که هیچ توده زنده گیاه در آن قرار نگیرد و ابتدای قرار دادن محفظه 250 میلی‌لیتر از گاز آن را با سرنگ‌های خلأ کشیده و پس از دو ساعت دو مرتبه همین کار تکرار شد و سپس نمونه‌های گازی برداشت شده به منظور آنالیز به آزمایشگاه فرستاده شد. دمای خاک نیز در زمان اندازه‌گیری انتشار دی‌اکسید کربن تا عمق پنج سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری شد برای ارزیابی رابطه بین دمای خاک و انتشار دی اکسیدکربن از تابع نمایی 10 استفاده شد (Shimizu et al., 2009).

$F = a\ exp(bt)$ معادله(10)

که در این معادله F: انتشار دی اکسیدکربن، T: دمای خاک و a و b، ضرایب معادله می‌باشد.

به‌منظور جدا کردن تنفس هتروتروفی از تنفس اتوتروفی از روش حذف ریشه[4] استفاده گردید (Hanson et al., 2000). بدین صورت که در هربار اندازه‌گیری از انتشار دی‌اکسیدکربن، سطح زمینی در حدود 0/25 مترمربع (کوادرات‌های 0/5× 0/5 متر) تا عمق 30 سانتی‌متری با بیل کنده شده و ریشه‌ها با غربال الک شده و خارج گردید و خاک به جای خودش برگشت داده شد و پس از آن انتشار دی‌اکسیدکربن سطح مورد نظر اندازه‌گیری شد، بنابراین در هربار اندازه‌گیری انتشار دی‌اکسیدکربن از هر تیمار دو اندازه‌گیری انجام شد یکی در حضور ریشه و دیگری در عدم حضور ریشه که از طریق اختلاف این دو، سهم انتشار دی اکسیدکربن منتشر شده از تنفس

3- Closed- chamber method
4- Root exclusion

اتوتروفی و هتروتروفی مشخص شد.

محاسبه[1]NBP و NEP برای برآورد بیلان کربنی از معادله‌های 11 و 12 انجام شد (olinder et al., 2007)

$$NEP= NPP-RH \quad (11)$$ معادله

$$NBP=NEP+Cm-Ch \quad (12)$$ معادله

که در این معادله، RH: تنفس هتروتروفی خاک و Cm: کربن آلی اضافه شده از طریق کود دامی و Ch: کربن خارج شده از سیستم با برداشت می‌باشد

آنالیز داده‌ها با نرم افزار SAS، مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت برای محاسبه ضرایب معادلات رگرسیونی از نرم‌افزار Slide write استفاده گردیده و رسم نمودارها نیز در محیط Excel انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص برداشت و ضرایب تسهیم کربن

در هر دو سال آزمایش اثر تیمارهای کودی بر شاخص برداشت، نسبت ساقه به ریشه و ضرایب تسهیم کربن بین اندام‌ها معنی‌دار بود (جدول3). با افزایش مصرف کود شیمیایی شاخص برداشت کاهش داشت و از طرفی نسبت ساقه به ریشه بزرگتر شده به‌طوری‌که تیمار 250 کیلوگرم نیتروژن در هکتار کمترین شاخص برداشت (42 درصد) و بالاترین نسبت ساقه به ریشه (6) را در هر دو سال آزمایش دارا بود. همچنین در سال اول آزمایش تیمار کود دامی هیچ‌گونه اثر معنی‌داری را نسبت به تیمار شاهد در هیچ‌یک از صفات نشان نداد این در حالی بود که در سال دوم آزمایش اثر کود دامی بر شاخص برداشت نسبت به شاهد معنی‌دار شد. ضریب تسهیم کربن به ساقه در شرایط استفاده از کود شیمیایی و دامی افزایش یافت (جدول 3).

به‌طور کلی در سطوح بالاتر مصرف نیتروژن، سهم اختصاص کربن به اندام‌های هوایی بیش از ریشه بود که این به خاطر اختصاص بیشتر کربن به اندام رویشی بالای سطح زمین بود و همین دلیل عمده‌ای بود که اگرچه سهم اندام‌های بالای سطح زمین از کربن افزایش داشت، ولی شاخص برداشت کاهش نشان داد (جدول 3). با توجه به این‌که بالاتر بودن شاخص برداشت و همچنین نسبت اندام هوایی به زیرزمینی به مفهوم خارج شدن کربن بیشتر از مزرعه و در نتیجه ورودی کربن کمتر به خاک می‌باشد، بنابراین می‌توان بیان کرد که اثر این دو عامل (شاخص برداشت و نسبت اندام هوایی به زیرزمینی) بر میزان تولید خالص کربن و همچنین ورودی کربن منفی می‌باشد (Bolinder et al., 2007).

بنابراین، اگر صرفاً برای گیاه گندم، خروج دانه از مزرعه مدنظر قرار گیرد به دلیل کاهش شاخص برداشت میزان بازگشت کربن به خاک افزایش می‌یابد. برآورد ضرایب نسبی تسهیم کربن به اندام‌های مختلف، می‌تواند سهم هر یک از اندام‌های گیاهی را از میزان دی-اکسید کربن جذب شده برآورد و تعیین کند و با توجه به مقدار بقایای برگشت داده شده به خاک از طریق اندام‌های مختلف می‌توان میزان ترسیب کربن توسط هر محصول را برآورد کرد (Khorramdel et al., 2010). سهم نسبی کربن در اندام‌های مختلف گیاه از کل کربن موجود در گیاه نیز در جدول 2 آورده شده است. از طرفی، این نکته نیز حایز اهمیت است که اگرچه نسبت ساقه به ریشه در تیمارهای کود آلی و کود شیمیایی افزایش داشت، ولی این به معنای کاهش رشد ریشه نبود بلکه نشان‌دهنده این امر است که افزایش رشد اندام-های هوایی در شرایط استفاده از کود دامی و شیمیایی بیش از رشد اندام زیرزمینی گندم بود، پس به‌طور کلی، می‌توان این‌گونه عنوان کرد که استفاده ازکود دامی و شیمیایی میزان ورود کربن به خاک را افزایش داده است (Brar et al., 2013).

تولید خالص اولیه بر اساس کربن (NPP_c)

میزان تولید خالص اولیه بر اساس کربن در هر دو سال آزمایش هم در اندام هوایی و هم برای بخش‌های زیرزمینی با استفاده از کود شیمیایی و دامی افزایش یافت (جدول 4). در سال اول آزمایش بالاترین تولید خالص اولیه را تیمار 250 کیلوگرم نیتروژن داشت (6467 کیلوگرم کربن در هکتار در سال) که البته بالاتر بودن آن نسبت به تیمار مخلوط کود دامی و نیتروژن معنی‌دار نبود (جدول4).

بالاترین میزان تولید در بخش زیرزمینی مربوط یه تیمار مخلوط کود دامی و نیتروژن بود (1544 کیلوگرم کربن در هکتار در سال). در سال دوم آزمایش نیز بالاترین تولید خالص اولیه مربوط به دو تیمار 250 کیلوگرم نیتروژن و تیمار مخلوط کود دامی و نیتروژن بود با این تفاوت که افزایش کمی در تیمارهای کود دامی نسبت به تیمارهای کود شیمیایی مشاهده شد که اگر چه این اختلاف معنی‌دار نبود، ولی به‌نظر می‌رسد به‌دلیل تجزیه کود دامی به جا مانده از سال قبل بوده

1-Net Biome Production

که فضا را برای رشد بهتر ریشه و جذب بهتر مواد فراهم کرد محققان دیگری نیز در آزمایشات مشابه همین امر را گزارش کردند (Brar et al., 2013, Shimizu et al., 2009).

جدول 3- اثر تیمار کود دامی و کود شیمیایی بر شاخص برداشت (HI)، نسبت اندام هوایی به زیرزمینی (S:R) و ضریب تسهیم کربن در اندام‌های مختلف گیاه گندم در سال 91-1389

Table 3-Treatments effect on harvest index (HI), shoot-to-root (S:R) ratio and allocation coefficients in different parts of crops in 2010-2012

سال	تیمار	شخص برداشت (درصد)	نسبت اندام هوایی به زیرزمینی	سهم نسبی کربن ساقه	سهم نسبی کربن دانه	سهم نسبی کربن ریشه	سهم نسبی کربن در ترشحات ریشه ای
Year	Treatments	HI (%)	Shoot: Root ratio	C allocation coefficients in straw	C allocation coefficients in seed	C allocation coefficients in root	C allocation extra-root material
2010-2011	C	48	5.2	0.39	0.36	0.14	0.09
	M	46	5.4	0.41	0.35	0.14	0.09
	F1	45	5.7	0.42	0.34	0.13	0.09
	F2	42	6	0.45	0.32	0.12	0.08
	F-M	45	5.7	0.43	0.34	0.13	0.08
	LSD (5%)	3.20	0.20	0.03	0.03	0.3	0.02
2011-2012	C	49	5.1	0.38	0.36	0.15	0.09
	M	45	5.3	0.41	0.36	0.15	0.09
	F1	45	5.7	0.43	0.34	0.12	0.09
	F2	42	6	0.46	0.31	0.12	0.08
	F-M	43	5.7	0.45	0.33	0.13	0.08
	LSD (5%)	3.00	0.28	0.03	0.04	0.04	0.02

C، M، F_1 ، F_2 و F-M: به‌ترتیب شاهد، کود دامی، 150 و 250 کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی نیتروژن و 150 کیلوگرم نیتروژن به همراه کود دامی می‌باشد.

C, M, F_1, F_2 and F-M: indicate: control, animal manure, 150 and 250 kg.ha^{-1} chemical nitrogen and 150 kg.ha^{-1} chemical nitrogen plus animal manure, respectively.

جدول 4- میزان تولید خالص اولیه گندم بر حسب کیلوگرم کربن در هکتار در سال در کل گیاه گندم و سهم بخش هوایی و زیرزمینی در تیمارهای مختلف در سال‌های 91-1389

Table 3- The total, below and above net primary production of wheat (Kg.C.ha^{-1}.year^{-1}) in different treatments in 2010-2012

سال	تیمار	تولید خالص اندام هوایی (کیلوگرم کربن در هکتار در سال)	تولید خالص اندام هوایی (کیلوگرم کربن در هکتار در سال)	تولید خالص اولیه (کیلوگرم کربن در هکتار در سال)
Year	Treatments	Aboveground Net Primary Production (Kg.C.ha^{-1}.year^{-1})	belowground Net Primary Production (Kg.C.ha^{-1}.year^{-1})	Net Primary Production (Kg.C.ha^{-1}.year^{-1})
2010-2011	C	2250	715c	2965
	M	3150	1043b	4193
	F_1	3600	963bc	4563
	F_2	5100	1367a	6467
	F-M	4750	1544a	6294
	LSD (5%)	541	261	320
2011-2012	C	1850	790	2740
	M	3200	1150	4350
	F_1	3400	950	4350
	F_2	4950	1310	6260
	F-M	4800	1610	6410
	LSD (5%)	330	340	210

C، M، F_1 ، F_2 و F-M: به‌ترتیب تیمار، شاهد، کود دامی، 150 و 250 کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی نیتروژن و 150 کیلوگرم نیتروژن به همراه کود دامی می‌باشد.

C, M, F_1, F_2 and F-M: indicate: control, animal manure, 150 and 250 kg.ha^{-1} chemical nitrogen and 150 kg.ha^{-1} chemical nitrogen plus animal manure, respectively.

در یک آزمایش که اثر کودهای دامی و کود شیمیایی بر بیلان کربنی در چراگاه ژاپن بررسی و گزارش شد که استفاده از هر دو نوع کود، تولید خالص اولیه بخش زیرزمینی و بخش بالای زمین را افزایش داده، ولی بین کود شیمیایی و کود دامی اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. اگرچه در سال دوم آزمایش کود دامی اثر بهتری نسبت به سال اول نشان داده بود، ولی باز هم این اثر نسبت به کود شیمیایی اختلاف معنی‌داری در سال دوم آزمایش نیز نداشت (Shimizu et al., 2009). آنتونی و همکاران (Anthoni et al., 2004) در تحقیقات خود بر تغییرات کربنی اکوسیستم‌های زراعی گندم زمستانه در آلمان میزان تولید خالص اولیه بر اساس کربن را برای گندم 5900 کیلوگرم در هکتار در سال اعلام کردند. در مطالعات مختلف بر روی گیاهان مختلف گزارش شده است که استفاده از کود شیمیایی نیتروژن و کود دامی تا حدود 60 درصد میزان تولید خالص اولیه را افزایش می‌دهد (Lee et al., 2007; Jones et al., 2006; Byrne et al., 2005)

میزان انتشار دی‌اکسید کربن از سطح خاک

با افزایش دمای خاک میزان انتشار دی‌اکسیدکربن از خاک افزایش نشان داد (شکل 1). روند جریان دی‌اکسیدکربن 250، 220، 200، 170، 160 و 55 میلی‌گرم کربن در مترمربع در ساعت به‌ترتیب در تیمارهای مخلوط نیتروژن و کود دامی، کود دامی، 250 کیلوگرم نیتروژن، 150 کیلوگرم نیتروژن، تیمار شاهد و تیمار بدون گیاه مشاهده شد.

معادله نمایی و ضرایب به‌دست آمده در هر دو سال آزمایش در جدول 5 آمده است که از روی این معادله انتشار سالانه دی‌اکسید کربن از خاک اندازه‌گیری شد. رابطه نمایی بین دمای خاک و تنفس خاک توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Brar et al., 2013; Chen et al., 2011; Shimizu et al., 2009).

چن و همکاران (Chen et al., 2011) سرعت انتشار دی-اکسیدکربن را در دمای 26 درجه سانتی‌گراد تا 440 میلی‌گرم کربن در مترمربع در ساعت برای گندم زمستانه گزارش کردند که این تقریبا دو برابر بالاترین تنفس اندازه‌گیری شده در این آزمایش می‌باشد. آزمایش چن و همکاران (Chen et al., 2011) در مزرعه تحقیقاتی نانجینگ با بارندگی 1100 میلی‌متر سالانه و حدود 4 درصد ماده آلی خاک انجام گرفت که قابلیت بالای تجزیه در خاک این منطقه را نشان می‌دهد که همه این عوامل نشان‌دهنده بالا بودن تنفس خاک در آن منطقه نسبت به مشهد می‌باشد.

تخمین میزان تنفس سالانه خاک

مجموع انتشار دی‌اکسید کربن سالانه از سطح خاک از معادله نمایی که در جدول 5 آمده است با توجه به ضرایب محاسبه شده و دمای خاک تخمین زده شد که نتایج آن در جدول 6 نشان داده شده است.

جدول5-توابع نمایی استفاده شده بر اساس دمای خاک تا عمق 5 سانتی‌متر برای پیش‌بینی سرعت جریان در اکسید کربن از سطح خاک.

Table 5-The exponential regression model used based on soil temperature at 5 cm depth for predicting CO_2 flux.

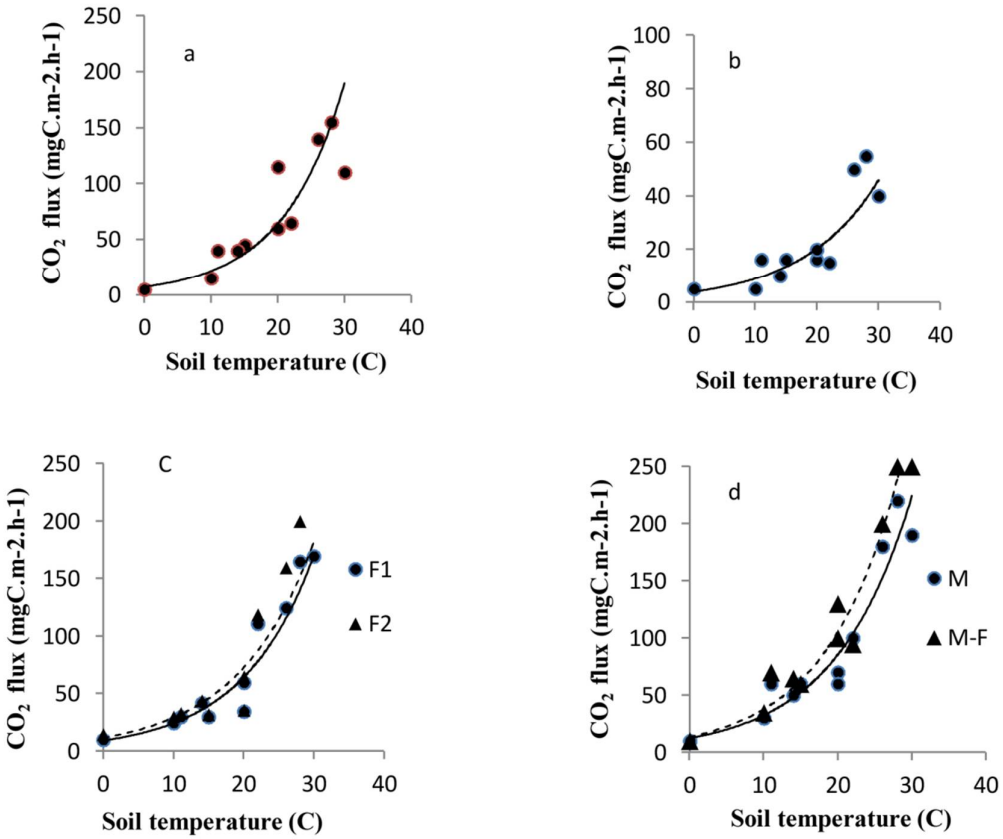
سال Year	2010-2011		2011-2012	
	معادله	ضریب تعیین	معادله	ضریب تعیین
تیمار Treatments	Equation	R^2	Equation	R^2
C	F=7.7exp(0.103T)	0.85	F=7.1exp(0.092T)	0.80
F_1	F=4.3exp(0.086T)	0.79	F=4.1exp(0.076T)	0.81
F_2	F=10.5exp(0.085T)	0.89	F=10.2exp(0.081T)	0.82
M	F=13.4exp(0.080T)	0.87	F=12.9exp(0.079T)	0.84
M+F	F=13.5exp(0.083T)	0.92	F=14.1exp(0.084T)	0.87
C	F=15.1exp(0.080T)	0.90	F=15.2exp(0.085T)	0.92

مدل استفاده شده F = a exp (bT)، است که F: دی‌اکسیدکربن انتشار یافته و T: دمای خاک تا عمق پنج سانتی‌متری.

Model uses is F = a exp (bT) where F is the CO_2 flux ($mgC.m^{-2}.h^{-1}$) and T is soil temperature at 5 cm soil depth (^0C).

C، M، F_1 ، F_2 و F-M: به‌ترتیب شاهد، کود دامی، 150 و 250 کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی نیتروژن و 150 کیلوگرم نیتروژن به همراه کود دامی می‌باشد.

C, M, F_1, F_2 and F-M: indicate: control, animal manure, 150 and 250 $kg.ha^{-1}$ chemical nitrogen and 150 $kg.ha^{-1}$ chemical nitrogen plus animal manure, respectively.



شکل1- رابطه بین انتشار دی‌اکسید کربن و دمای خاک در تیمارها شاهد (a)، بدون ریشه گیاه (b)، کود نیتروژن (c) و کود دامی (d). ضرایب مدل‌ها در جدول 5 ارایه شده است.

C، M، F_1 ، F_2 و F-M: به‌ترتیب تیمار، شاهد، کود دامی، 150 و 250 کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی نیتروژن و 150 کیلوگرم نیتروژن به همراه کود دامی می‌باشد.

Fig. 1- Relationship between CO_2 flux and soil temperature in control plot (a), root-excluded plot (b), Nitrogen fertilizer plot (c) and manure plot (d). Model coefficients are described in table 5.

C, M, F1, F2 and F-M: indicate: control, animal manure, 150 and 250 kg.ha^{-1} chemical nitrogen and 150 kg.ha^{-1} chemical nitrogen plus animal manure, respectively.

تنفس هتروتروفی (RH) نیز با به توجه به معادله نمایی و ضرایب محاسبه شده از کرت بدون ریشه گیاه (جدول 6) و با توجه به دمای خاک هر یک از تیمارهای مختلف محاسبه گردید. بالاترین میزان تنفس خاک در سال‌های اول و دوم مربوط به تیمار مخلوط کود دامی و کود نیتروژن به ترتیب با 3257 و 3310 کیلوگرم کربن در هکتار در سال بود و کمترین میزان تنفس سالانه خاک در سال‌های اول و دوم نیز مربوط به تیمار شاهد به‌ترتیب با 1878 و 1753 کیلوگرم کربن در هکتار در سال به دست آمد. به‌طور کلی تیمارهای کود دامی نسبت به تیمارهای دیگر از تنفس خاک و تنفس هتروتروفی بالاتری برخوردار بودند.

در تنفس خاک که تنفس ریشه نیز در آن دخیل است تیمارهای نیتروژن نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌دار تنفس بیشتری داشتند و اختلاف آن با تیمار کود دامی نیز معنی‌دار نبود، اما در تنفس هتروتروفی اختلاف معنی‌داری بین تیمار شاهد و تیمار کود نیتروژن مشاهده نشد و از طرفی تیمار کود دامی و مخلوط کود دامی و نیتروژن به‌طور معنی‌داری از تنفس هتروتروفی بالاتری نسبت به تیمارهای دیگر برخوردار بودند. تنفس خاک اندازه گیری شده در این آزمایش کمتر از گزارش چن و همکاران (Chen et al., 2011) بود که تنفس سالانه خاک را در گندم زمستانه تا 5100 کیلوگرم در هکتار در سال گزارش کردند و یا دویکر و لال (Duiker & Lal,

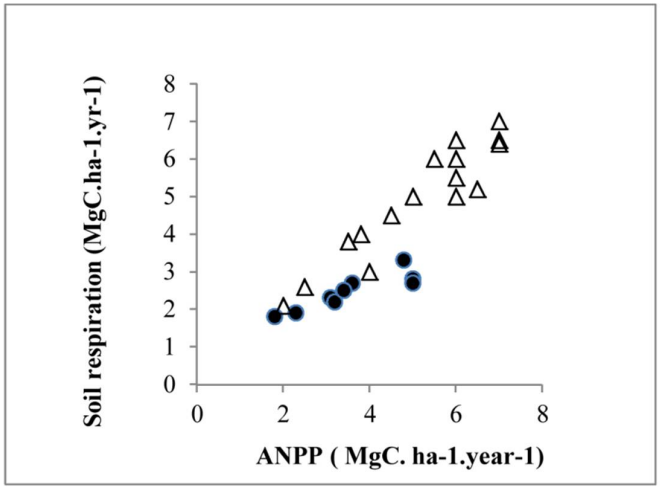
(2000تنفس خاک را در سیستم با بقایای گندم تا 6500 کیلوگرم در هکتار در سال نیز گزارش نمودند که از تنفس اندازه‌گیری شده در این آزمایش بسیار بالاتر می‌باشند.

جدول 6- تنفس سالانه خاک (RS) و تنفس هتروتروفی خاک (RHs) بر حسب کیلوگرم کربن در هکتار در سال
Table 6- Annual soil respiration (RS) and heterotrophic respiration of soil (RHs) (KgC. ha^{-1}. year^{-1})

سال Treatments	2010-2011		2011-2012	
	تنفس اتوتروفی (کیلوگرم کربن در هکتار در سال) Soil respiration (KgC. ha^{-1}. year^{-1})	تنفس هتروتروفی (کیلوگرم کربن در هکتار در سال) Heterotrophic respiration (KgC. ha^{-1}. year^{-1})	تنفس اتوتروفی (کیلوگرم کربن در هکتار در سال) Soil respiration (KgC. ha^{-1}. year^{-1})	تنفس هتروتروفی (کیلوگرم کربن در هکتار در سال) Heterotrophic respiration (KgC. ha^{-1}. year^{-1})
C	1878d*	745	1753	740
F_1	2265	804	2150	810
F_2	2630	835	2510	830
M	2710	970	2766	990
M+F	3257	1150	3310	1250
LSD (5%)	128	101	290	104

C، M، F1 ، F2 و F-M به‌ترتیب تیمار، شاهد، کود دامی، 150 و 250 کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی نیتروژن و 150 کیلوگرم نیتروژن به همراه کود دامی می‌باشد.
C, M, F_1, F_2 and F-M indicate treatment of experiment: control, animal manure, 150 and 250 kg.ha^{-1} chemical nitrogen and 150 kg.ha^{-1} chemical nitrogen plus animal manure.

در این آزمایش میزان ماده آلی خاک بسیار پایین‌تر از آزمایشات ذکر شده بوده به‌طوری‌که وقتی کود دامی به مزرعه اضافه گردید به دلیل کربن آلی موجود در آن تنفس هتروتروفی و بالطبع آن تنفس خاک افزایش یافت. ریچ و توفیگسیگلو (Raich & Tufekcioglu, 2000) در یک مطالعه گزارش نمودند که بین تولید خالص اولیه بالای سطح زمین و تنفس خاک یک رابطه خطی وجود دارد و یک دلیل کمتر بودن تنفس خاک در این آزمایش پایین‌تر بودن تولید خالص اولیه نسبت به آزمایشات دیگر بر گندم می‌باشد (شکل 2) که ایشان میزان تنفس خاک را بالاتر گزارش نمودند.



شکل 2- ارتباط بین تنفس خاک و تولید خالص اولیه بالای سطح زمین
Fig. 2- Relationship between soil respiration and ANPP

دلیل این ارتباط می‌تواند تولید بیشتر ماده آلی و برگشت بیشتر آن به خاک در طول دوره رشد گیاه باشد و همچنین رشد بیشتر اندام

زیرزمینی که ماده آلی بالاتری را برای فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک پدید آورده و از طرفی تنفس اتوتروفی ریشه نیز با بیشتر شدن حجم آن بیشتر می‌گردد (Raich & Shimizu et al., 2009; Tufekcioglu, 2000).

در مورد تأثیر کاربرد نیتروژن بر تنفس خاک نتایج متفاوتی گزارش شده است. کاربرد نیتروژن به دو دلیل تنفس خاک را افزایش می‌دهد یکی به دلیل افزایش بیوماس گیاه و بالا بردن تنفس اتوتروفی و دیگری به دلیل افزایش تجزیه مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌های خاک و بالا بردن تنفس هتروتروفی. راسل و همکاران (Russell et al., 2009) با بررسی تأثیر نیتروژن بر بیلان کربنی گزارش کردند که با کاربرد نیتروژن در ذرت میزان انتشار دی اکسید کربن از سطح خاک افزایش یافت و دلیل این افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن را دو عامل افزایش تجزیه مواد آلی و افزایش زیست-توده گیاه بیان داشتند. اماشیمیزو و همکاران (Shimizu et al., 2009) در بررسی بیلان کربنی چراگاه در ژاپن گزارش کردند که میزان تنفس خاک در تیمار شاهد نسبت به تیمار کاربرد نیتروژن بالاتر بود. فوگ (Fog, 1988) نیز در یک بررسی بر روی 60 مقاله مختلف نشان داد که نیتروژن یا تاثیری بر افزایش تجزیه در خاک ندارد و یا اثر منفی دارد. یک دلیل برای این نتایج متفاوت می‌تواند اثر نیتروژن بر سایه‌اندازی بیشتر گیاه و کاهش دمای خاک باشد. در مناطق معتدل‌تر که دما یک عامل کاهنده برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها می‌باشد با کاربرد نیتروژن به دلیل سایه‌اندازی بیشتر و زودتر گیاه بر سطح زمین دمای خاک پایین آمده و این دلیل کاهش تنفس خاک می‌باشد که البته در این آزمایش نتیجه کاربرد نیتروژن افزایش تنفس خاک بود که این افزایش نیز بیشتر به تنفس اتوتروفی مربوط می‌گردید. زیرا ماده آلی خاک به حدی نبود که نیتروژن تأثیر معنی‌داری در افزایش تجزیه آن نشان دهد به همین دلیل تنفس هتروتروفی شاهد و کاربرد نیتروژن معنی‌دار نبود ولی وقتی نیتروژن به همراه کود دامی به کار رفت اثر افزایش تجزیه آن نسبت به کود دامی خالص مشاهده گردید.

ارزیابی بیلان کربن خاک

افزایش خالص کربن توسط گیاه (تولید خالص اولیه) منهای تنفس هتروتروفی از خاک را تولید خالص اکوسیستم گویند که در این مطالعه از تفاوت بین تولید خالص اولیه و تنفس هتروتروفی خاک محاسبه شد (Schulze., 2000). که در جدول 6 آمده است و تولید خالص بیوم، میزان کربنی که در اکوسیستم زراعی باقی می‌ماند را نشان می‌دهد. بقایای گندم در مزرعه شامل اندام زیرزمینی و درصدی از بیوماس بالای سطح زمین که به خاک برمی‌گردد، بود، بر این اساس میزان تولید خالص بیوم محاسبه گردید که در جدول 7 آمده است.

جدول7- تولید خالص سالانه اکوسیستم(NEP) و تولید خالص بیوم (NBP) بر حسب کیلوگرم کربن در هکتار در سال

Table 7- Annual net ecosystem production (NEP) and net biome production (NBP) (KgC. ha^{-1}. year^{-1})

تیمار Treatments	2010-2011		2011-2012	
	تولید خالص اکوسیستم (کیلوگرم کربن در هکتار در سال) NEP (KgC. ha^{-1}. year^{-1})	تولید خالص بیوم (کیلوگرم کربن در هکتار در سال) NBP (KgC. ha^{-1}. year^{-1})	تولید خالص اکوسیستم (کیلوگرم کربن در هکتار در سال) NEP (KgC. ha^{-1}. year^{-1})	تولید خالص بیوم (کیلوگرم کربن در هکتار در سال) NBP (KgC. ha^{-1}. year^{-1})
C	2065	-300	1825	-400
F_1	3604	-200	3365	-300
F_2	5077	-150	5100	-200
M	3068	1400	3185	1200
M+F	5000	1300	5000	1100

C، M، F_1 ، F_2 و F-M به‌ترتیب شاهد، کود دامی، 150 و 250 کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی نیتروژن و 150 کیلوگرم نیتروژن به همراه کود دامی می‌باشد.

C, M, F_1, F_2 and F-M: indicate treatment of experiment: control, animal manure, 150 and 250 kg.ha^{-1} chemical nitrogen and 150 kg.ha^{-1} chemical nitrogen plus animal manure, respectively.

بالاترین NEP در این آزمایش مربوط به تیمارهایی بود که تولید خالص اولیه بالایی داشتند و بالاترین تولید خالص اکوسیستم در هر دو سال آزمایش مربوط به تیمار 250 کیلوگرم کود نیتروژن بود با 5077 و 5100 کیلوگرم در هکتار در سال به‌ترتیب در سال‌های اول و

دوم که البته تیمار مخلوط کود دامی و نیتروژن نیست با NEP 5000 کیلوگرم در سال نیز تولید خالص اکوسیستم بالایی را نشان داد، اما در تولید خالص بیوم شرایط متفاوت بود، به‌طوری‌که بیشترین کاهش کربن آلی خاک در تیمار شاهد در هر دو سال آزمایش با کاهش 300 و 400 کیلوگرم کربن در هکتار در سال مشاهده شد و همین‌طور بیلان کربنی تیمارهای استفاده شده از کود نیتروژن نیز منفی بوده در حالیکه تیمارهای که در آن‌ها از کود دامی استفاده شده بود دارای بیلان مثبت کربن بودند. محققان دیگری نیز گزارش دادند که کاربرد کود دامی بیلان کربنی را مثبت کرده و میزان ماده آلی خاک را افزایش می‌دهد (Jarecki & Lal, 2003; Lee et al., 2007; Shimiu et al., 2009; Kutsch et al., 201). لی و همکاران (Lee et al., 2007) با اندازه گیری ماده آلی خاک تا عمق 30 سانتی متر در یک آزمایش چهار ساله در منطقه داکوتای آمریکا گزارش کردند که استفاده از کود دامی گاو سالانه 2100 کیلوگرم کربن در هکتار به ماده آلی خاک افزوده شد. کخ و همکاران (Kutsch et al., 2010) در بررسی بیلان کربنی اکوسیستم‌های زراعی در اروپا بیان داشتند که تولید خالص بیوم در تمامی اکوسیستم‌ها در شرایط عدم استفاده از ماده آلی منفی می‌باشد که نتایج آن‌ها با نتایج به‌دست آمده در این آزمایش مطابقت دارد آن‌ها بیان داشتند که اگر در سال‌های اخیر کشاورزان اروپایی صرفاً از کود شیمیایی استفاده می‌کردند و بخشی از بقایا را به خاک باز نمی‌گرداندند و یا از کودهای دامی استفاده نمی‌کردند تمامی ماده آلی خاک از دست می‌رفت.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش حاکی از آن است که خروج سالانه کربن از بوم نظام‌های زراعی تحت کشت گندم پاییزه به شکل رایج بیش از ورود کربن به خاک می‌باشد. اگرچه تولید خالص اکوسیستم مثبت بوده ولی به‌دلیل خروج سطح بالایی از اندام اقتصادی به همراه کاه و کلش خاک‌های کشاورزی را به سمت هرچه بیشتر خالی شدن ماده آلی آن سوق می‌دهد و همچنین نتایج آزمایش نشان داد که استفاده از کود دامی سطوح بالایی از کربن آلی را وارد خاک کرده و می‌تواند در بهبود کربن آلی خاک نقش مؤثری داشته باشد.

منابع

Anthoni, P.M., Freibauer, A., Kolle, O., and Detlef Schulze, E. 2004. Winter wheat carbon exchange in Thuringia, Germany. Agricultural and Forest Meteorology 121: 55-67.

Béziat, P., Eschia, C., and Dedieu, E. 2009. Carbon balance of a three crop succession over two cropland sites in South West France. Agricultural and Forest Meteorology 149: 1628-1645.

Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., and VandenBygaart, A.J. 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. Agriculture, Ecosystems and Environment 118: 29-42.

Brar, B.S., Kamalbir, S., Dheri, G.S., and Kumar, B. 2013. Carbon sequestration and soil carbon pools in a rice–wheat cropping system: Effect of long-term use of inorganic fertilizers and organic manure. Soil and Tillage Research 128: 30-36.

Byrne, K.A., Kiely, G., and Leahy, P. 2005. CO_2 fluxes in adjacent new and permanent temperate grasslands. Agricultural and Forest Meteorology 135: 82-92.

Chen, S., Zhenghua, H., Li, H., Yuhong, J., and Yang, Y. 2011. Effects of elevated UV-B radiation on ecosystem and soil respiration in a winter wheat farmland. European Journal of Soil Biology 47: 16-23.

Crill, P.M. 1991. Seasonal patterns of methane uptake and carbon dioxide release by a temperate woodland soil. Global Biogeochem Cycles 5: 319-334.

Duiker, S.W., and Lal, R. 2000. Carbon budget study using CO_2 flux measurements from a no till system in central Ohio. Soil and Tillage Research 54: 21-30.

Fog, K. 1988. The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organicmatter. Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society 63: 433-462.

Goudriaan, J. 1995. Global carbon cycle and carbon sequestration. Pages 3–18 in M. Beran, ed. Prospects for carbon sequestration in the biosphere. NATO ASI, Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Hanson, P.J., Edwards, N.T., Garten, C.T., and Andrews, J.A. 2000. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations. Biogeochemistry 48: 115-146.

Jarecki, M.K., and Lal, R. 2003. Crop management for soil carbon sequestration. Critical Reviews in Plant Sciences 22: 471-502.

Jones, S.K., Rees, R.M., Skiba, U.M., and Ball, B.C. 2005. Greenhouse gas emissions from a managed grassland. Global Planet Change 47: 201-211.

Katrin Prescher, A., Grunwald, T., and Bernhofer, C. 2010. Land use regulates carbon budgets in eastern Germany: From NEE to NBP. Agricultural and Forest Meteorology 150: 1016-1025.

Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Khorasani, R. 2010. Effect of different crop management systems on NPP and relative corbon allocation coefficients for corn (*Zea mays* L.). Journal of Agroecology 2: 667-680. (In Persian with English Summary)

Korner, C. 2003. Carbon limitation in trees. Journal of Ecology 91: 4-17.

Kutsch, W.L., Aubinet, N., Buchmann, P., Smith, B., Osborne, W., Eugster, M., Wattenbach, M., Schrumpf, E.D., Schulze, E., Tomelleri, E., Ceschia, C., Bernhofer, P., Béziat, A., Carrara, P., DiTommasi, T., Grünwald, M., Jones, V., Magliulo, O., Marloie, C., Moureaux, A., Olioso, M.J., Sanz, M., Saunders, H., Sogaard, M., and Ziegler, W. 2010. The net biome production of full crop rotations in Europe. Agriculture, Ecosystems and Environment 139: 336-345.

Lee, D.K., Owens, V.N., and Doolittle, J.J. 2007. Switchgrass and soil carbon sequestration response to ammonium nitrate, manure, and harvest frequency on conservation reserve program land. Agronomy journal 99: 462-468.

Lehuger, S., Gabrielle, B., Cellier, P., Loubet, B., Roche, R., Béziat, P., Ceschia, E., and Wattenbach, M. 2010. Predicting the net carbon exchanges of crop rotations in Europe with an agroecosystem model. Agriculture, Ecosystems and Environment 139: 384-395.

Massman, W.J., and Lee, X. 2002. Eddy covariance flux corrections and uncertainties in long-term studies of carbon and energy exchanges. Agricultural and Forest Meteorology 113: 121-144.

Melling, L., Hatano, R., and Goh, K.J. 2005. Soil CO_2 flux from three ecosystems in tropical peatland of Sarawak, Malaysia. Tellus 57: 1-11.

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Kamali, G.A., and Shahandeh, H. 2006. Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran. Archives of Agronomy and Soil Science 52: 113-124.

Osborne, B., Saunders, M., Walmsley, D., Jones, M., and Smith, P. 2010. Key questions and uncertainties associated with the assessment of the cropland greenhouse gas balance. Agriculture, Ecosystems and Environment 139: 293-301.

Raich, J.W., and Tufekcioglu, A. 2000. Vegetation and soil respiration: correlations and controls. Biogeochemistry, 48: 71-90.

Russel, A., Cambardella, C., Laird, D., Jaynes, D.B., and Meek, D.W. 2009. Nitrogen fertilizer effects on soil carbon balances in Midwestern U.S. agricultural systems. Ecological Applications 19: 1102-1113.

Schulze, E.D., Wirth, C., and Heimann, M. 2000. Climate change-managing forests after Kyoto. Science 289: 2058-2059.

Shimizu, M., Marutani, S., Desyatkin, A.R., Hiroshi Hata, T.J., and Hatano, R. 2009. The effect of manure application on carbon dynamics and budgets in a managed grassland of Southern Hokkaido, Japan. Agriculture, Ecosystems and Environment 130: 31-40.

Soussana, J.F., Pilegaard, V., Ambus, K., Amman, P., Ceschia, C., Clifton-Brown, J., Czobel, S., Domingues, R., Flechard, C., Fuhrer, J., Hensen, A., Horvath, L., Jones, M., Kasper, G., Martin, C., Nagy, Z., Neftel, A., Raschi, A., Baronti, S., Rees, R.M., Skiba, U., Stefani, P., Manca, G., Sutton, M., Tuba, M., and Valentini, R. 2007. Full accounting of the greenhouse gas (CO_2, N_2O, CH_4) budget of nine European grassland sites. Agriculture, Ecosystems and Environment 121: 121-134.

Toma, Y., and Hatano, R. 2007. Effect of crop residue C:N rate on N_2O emissions from Gray Lowland soil in Mikasa, Hokkaido, Japan. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 53: 198-205.

Twine, T.E. and Kucharik, C.J. 2009. Climate impacts on net primary productivity trends in natural and managed ecosystems of the central and eastern United States. Agricultural and Forest Meteorology 149: 2143-2161.

Wofsy, S.C., Goulden, M.L., Munger, J.W., Fan, S.M., Bakwin, P.S., Daube, B.C., Bassow, S.L. and Bazzaz, F.A. 1993. Net exchange of CO_2 in a midlatitude forest. Science 260: 1314-1317.

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 4, Winter 2018, p. 1070-1083

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 9، شماره 4، زمستان 1396، ص. 1083-1070

Assessing Effect of Manure and Chemical Fertilizer on Net Primary Production, Soil Respiration and Carbon Budget in Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) Ecosystem under Mashhad Climatic Condition

Y. Alizadeh[1], A. Koocheki[2*] and M. Nassiri Mahallati[2]

Submitted: 19-01-2013
Accepted: 14-12-2013

Alizadeh, Y., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2018. Assessing effect of manure and chemical fertilizer on net primary production, soil respiration and carbon budget in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) ecosystem under Mashhad climatic condition. Journal of Agroecology 9(4): 1070-1083.

Introduction

The imbalance between anthropogenic emissions of CO_2 and the sequestration of CO_2 from the atmosphere by ecosystems has led to an increase in the average concentration of this greenhouse gas (GHG) in the atmosphere. Enhancing carbon sequestration in soil is an important issue to reduce net flux of carbon dioxide to the atmosphere. Soil organic carbon content is obtained from the difference between carbon input resulting from plant biomass and carbon losses the soil through different ways including soil respiration. CO_2 emission varies largely during the year and is considerably affected by management type. The goal of this investigation was to study the effects of application of manure and chemical fertilizer on CO_2 flux and carbon balance in agricultural system.

Materials and Methods

In order to evaluate the carbon dynamics and effect of fertilizer and manure management on soil respiration and carbon budget for winter wheat, an experiment was conducted as a randomized complete block design with three replications in research field of Faculty of Agriculture of Ferdowsi University of Mashhad for two years of 2010-2011 and 2011-2012. The experimental treatments were 150 and 250 kg chemical nitrogen (N1 and N2), manure (M), manure plus chemical nitrogen (F-M) and control (C). CO_2 emission was measured six times during growth season and to minimize daily temperature variation error, the measurement was performed between 8 to 11 am. Chambers length and diameter were 50 cm and 30 cm, respectively and their edges were held down 3 cm in soil in time of sampling so that no plant live mass was present in the chamber. Carbon budgets were estimated for two years using an ecological technique.

Results and Discussion

The net primary production (NPP) was significantly higher in the F2 and F-M treatments with 6467 and 6294kg ha^{-1} in the first year and 6260 and 6410 kg ha^{-1} in the second year, respectively. The highest shoot to root ratio was obtained in F2 and the lowest was observed in control plot with 5.1 and 5.2 for first and second years, respectively. The trend of CO_2 flux as 250, 220, 200, 170, 160 and 155 mg C m^{-2} h^{-1} was gained in the F-M, M, F2, F1 and root-excluded plots, respectively. In general, manure treatments had the highest heterotrophic respiration. The highest of annual soil respiration and heterotrophic respiration were also in M-F treatment with 3257 and 1150 kg C ha^{-1} for the first year and 3310, 1250 kgC ha^{-1} in second year, respectively. The annual NPP was 5000 and 5000 kg C ha^{-1} $year^{-1}$ for M-F, 5077 and 5100 kgC ha^{-1} $year^{-1}$ in F1 and 2065 and 1865 kg C ha^{-1} $year^{-1}$ for the control treatment in 2010 and 2011, respectively. The range of annual net biome production (NBP) in the fertilizer and control treatments ranged from -400 to -150 kg C ha^{-1} $year^{-1}$, suggesting the loss of carbon in the field. On the other hand, NBP in the M was 1400 and 1200 kg C ha^{-1} $year^{-1}$ in 2010 and 2011, respectively and the M-F was 1300 and 1100 kgC ha^{-1} $year^{-1}$ in 2010 and 2011, respectively.

1 and 2- Asisstant professor, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Faculty of Agriculture, University of Ilam (Former PhD student in Ferdowsi University of Mashhad) and Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferodwsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
(*- Corresponding author Email: akooch@um.ac.ir)
DOI:10.22067/JAG.V9I4.51341

Conclusion

The results of this experiment showed that in the wheat ecosystem, the carbon emission is higher than the carbon entry into the soil. The results also indicated that manure application in agro-ecosystems is a necessary approach to mitigate carbon losses in the winter wheat ecosystem and the results indicated a high correlation (> 0.9) between soil temperature and CO_2 flux which was positive and exponential. Soil respiration increased under the influence of fertilizer treatments (both chemical fertilizer and manure) but, the main reason for the increased soil respiration under application of chemical fertilizers was autotrophic respiration. While both respiration of autotrophic and heterotrophic increased in manure treatment.

Keywords: Heterotrophic respiration, Net biome production, Net ecosystem production, Net primary production, Soil respiration