Archive of SID

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 6، شماره 4، زمستان 1393، ص. 752-741

Journal of Agroecology
Vol. 6, No. 4, Winter 2015, p. 741-752

بررسی چرخه درازمدت کربن و میزان ترسیب آن در سیستم کشاورزی ایران: I- تولید خالص اولیه و ورودی سالانه کربن برای محصولات زراعی مختلف

مهدی نصیری محلاتی[1]، علیرضا کوچکی[1*]، حامد منصوری[2] و روح اله مرادی[3]

تاریخ دریافت: 1391/07/08
تاریخ پذیرش: 1392/04/25

چکیده

برآورد میزان ورودی کربن به عنوان یکی از مهمترین فاکتورهای تعیین کننده برای تخمین میزان تغییرات کربن خاک و همچنین پتانسیل ترسیب کربن می‌باشد. به منظور بررسی میزان تولید اولیه و همچنین کربن ورودی به خاک در سیستم‌های کشاورزی ایران، اطلاعات مربوط به عملکرد، سطح زیر کشت، شاخص برداشت و همچنین نسبت اندام هوایی به زیرزمینی در محصولات زراعی مختلف کشور شامل: گندم (*Triticum aestivum* L.)، جو (*Hordeum vulgare* L.)، ذرت (*Zea mays* L.)، پنبه (*Gossypium hirsutum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.)، یونجه (*Medicago sativa* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) برای استان‌های مختلف جمع‌آوری گردید. سپس میزان کربن اختصاص یافته به اندام‌های مختلف گیاهی با توجه به ضرایب تسهیم کربن برآورد گردید و در نهایت میزان تولید خالص اولیه بر اساس کربن (NPPc) محاسبه گردید. کسری از NPPc که به صورت سالانه به خاک برگردانده می‌شود، به عنوان ورودی سالانه کربن به خاک در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار NPP_C برای گندم، جو و یونجه در اقلیم مرطوب خزری، برای برنج، نخود و پنبه در اقلیم گرم و مرطوب جنوبی و برای ذرت در اقلیم گرم و خشک حاصل شد. در تمامی مناطق کشور، گیاه نخود کمترین تاثیر را در میزان NPP_C و در نتیجه ترسیب کربن به خود اختصاص داد. بیشترین میزان ورودی کربن در واحد سطح در بین گیاهان مورد مطالعه و مناطق مختلف در منطقه خزری و برای گیاه یونجه و کمترین ورودی کربن مربوط به گیاه نخود در منطقه سرد کوهستانی بود. کمترین خلاء بین میزان واقعی و پتانسیل ترسیب کربن در گیاه یونجه مشاهده شد، در حالیکه گندم، برنج و پنبه بیشترین خلاء را به ترتیب با مقادیر 0/4، 0/38 و 0/37 نشان دادند که بیانگر امکان افزایش قابلیت ترسیب کربن از طریق این گیاهان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل، ترسیب کربن، تسهیم کربن، خلاء عملکرد

مقدمه

در حال حاضر گرمایش زمین به دلیل افزایش دی اکسید کربن و دیگر گازهای گلخانه‌ای به عنوان یکی از مهمترین مشکلات محیطی مطرح می‌باشد (Conen & Smith, 1998). این امر باعث بالا رفتن درجه حرارت و تغییر الگوهای بارندگی در مناطق مختلف جهان شده و در نتیجه در آینده بر کارکرد بوم نظام‌های زراعی و تولید محصولات مختلف، تأثیر خواهد گذاشت (Nassiri et al., 2008). از آنجا که تولید محصولات زراعی مستقیماً به شرایط اقلیمی وابسته است، کشاورزی یکی از اولین بخش‌هایی است که تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار می‌گیرد (Salinger, 2005; Motha & Baier, 2005). کشاورزی سهم مهمی (حدود 10-12 درصد) در انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر دارد. منابع اصلی این گازها سوخت‌های فسیلی استفاده شده در فعالیت‌های کشاورزی، تلفات کربن خاک تحت تأثیر عملیات خاک‌ورزی، سوزاندن بقایای گیاهان زراعی و درختان جنگلی، دامداری و استفاده از کودهای دامی، ساخت و بهره برداری از کود نیتروژن و کشت و کار برنج غرقابی است. با توجه به این که بسیاری از خاک‌ها بیش از 100 سال است که کشت و کار می شوند، کشاورزی و خاک‌ورزی فشرده باعث کاهش 30 تا 50 درصد کربن خاک شده است (Koocheki & Hosseini, 2006). اگر چه در قرن حاضر فعالیت‌های کشاورزی تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم قرار خواهد گرفت (IPCC 2002; Salinger, 2005)، اما کشاورزی نیز با

1، 2 و 3- به ترتیب استاد، دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد و دانشجوی سابق دکتری اکولوژی گیاهان زراعی دانشگاه فردوسی مشهد و استادیار گروه زراعت، دانشکده بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان
(*- نویسنده مسئول: (Email: akooch@um.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق فعالیت‌های مختلف کشاورزی و ترسیب کربن، می‌تواند در کاهش اثرات تغییر اقلیم نقش داشته باشد (Metting et al., 1999; Lal, 2004). با این وجود سیستم‌های کشاورزی خود می‌توانند مخزنی برای ذخیره کربن باشند. برای تعدیل[1] اثرات گلخانه‌ای دی اکسید کربن در بخش کشاورزی، به ذخیره کربن در خاک‌های کشاورزی توجه زیادی می‌شود (Huang et al., 2009). به طور میانگین گزارش شده است که میزان کربن در سطح خاک تا عمق یک متری، حدود 170 پتاگرم می‌باشد (Gill et al., 2002).

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 می‌باشد یا مخزن آن (Twine & Kucharik, 2009). به دلیل تنوع محصولات، سیستم‌های زراعی و عملیات کشاورزی در بوم‌نظام‌های زراعی برآورد زمانی و مکانی کربن برای هر منطقه مورد نیاز است (Lehuger et al., 2010). مقدار کربن آلی موجود در خاک به موازنه بین میزان کربن تثبیت شده از طریق فتوسنتز که وارد زیست توده گیاهی می‌شود و اتلاف کربن از طریق تجزیه میکروبی بستگی دارد. عملیات کشاورزی با تجزیه ماده آلی حاصل از بقایای گیاهان زراعی منجر به تغییر در ورود و خروج جریان CO_2 از خاک می شود. تولید دی اکسید نیتروژن و دی اکسید کربن به وسیله فعالیت‌های میکروبی خاک، از طریق اقلیم خاک (دما و محتوی رطوبتی)، تغذیه و عوامل بیولوژیکی قابل کنترل می‌باشد (Prior et al., 1997; Smith et al., 2004).

یکی از اجزای اصلی تخمین بیلان کربن در اکوسیستم‌های زراعی، محاسبه تولید خالص اولیه (NPP)[2] می‌باشد (Kutsch et al., 2010). تولید خالص اولیه به میزان کربن خالصی که در فرآیند فتوسنتز از اتمسفر جذب می‌گردد، گفته می‌شود به عبارت دیگر، در صورتی که از کل کربن جذب شده در فرآیند فتوسنتز که تولید ناخالص اولیه (GPP)[3] نامیده می‌شود، تنفس گیاه کسر شود تولید خالص اولیه به دست می‌آید (Smith et al., 2010). محاسبه تولید خالص اولیه قابلیت ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی، عملیات زراعی مختلف، محصولات مختلف و تغییرات اقلیمی آینده بر بیلان کربن یک اکوسیستم را امکان‌پذیر می‌سازد (Twine & Kucharik, 2009). تولید خالص اولیه مجموع کربن تثبیت شده در اندام هوایی و زیرزمینی گیاه می‌باشد که در صورت حفظ آن در خاک می‌تواند باعث کاهش انتشار دی اکسید کربن به اتمسفر شود (Khorramdel et al., 2010). تعیین میزان NPP گیاهان از یک طرف می تواند نشان دهندهٔ میزان تولید زیست تودهٔ گیاه و از طرف دیگر برآوردی از میزان دی اکسید کربن جذب شده از اتمسفر باشد. لذا با توجه به تأثیر مدیریت نظام‌های زراعی بر میزان تولید و انتشار دی اکسید کربن به اتمسفر، چنین به نظر می‌رسد که نظام‌های زراعی که بتوانند میزان دی اکسید کربن کمتری را به اتمسفر انتشار دهند و از طرف دیگر، تولید زیست تودهٔ بالاتری داشته باشند، می‌توانند به عنوان راهکاری پایدار برای کاهش غلظت دی اکسید کربن در آینده مد نظر قرار گیرند (Khorramdel et al., 2010). علاوه بر این با محاسبهٔ میزان تولید خالص اولیه و برآورد ضرایب نسبی تسهیم کربن به اندام‌های مختلف، می‌توان سهم هر یک از اندام‌های گیاهی را از میزان دی اکسید کربن جذب شده برآورد و تعیین کرد.

از جمله مهمترین محصولات زراعی ایران گندم، برنج، جو، ذرت، پنبه، سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) و نخود می‌باشند. هر ساله کشاورزان سهمی از بقایا را در زمین باقی گذاشته و بقیه را خارج می کنند. هدف از این تحقیق محاسبه میزان تولید خالص اولیه بر اساس کربن (NPP_c) و میزان کربن ورودی به خاک در این سیستم‌های زراعی برای استان‌های مختلف کشور بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، داده‌های عملکرد و سطح زیر کشت گیاهان زراعی مهم کشور شامل گندم، جو، ذرت، پنبه، برنج، یونجه و نخود برای استان‌های مختلف کشور طی یک دوره 20 ساله (1389-1369) از طریق مراجعه به سایت وزارت جهاد کشاورزی کشور جمع-آوری شد. همچنین اطلاعات هواشناسی و اقلیمی مربوطه از طریق کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی هر استان و و برخی نیز به شکل مراجعه موردی به مسئولین هر بخش جمع‌آوری گردید. سپس میزان تولید خالص اولیه بر اساس کربن (NPPc) از طریق معادله (1) محاسبه شد:

$$NPP_c = C_P + C_S + C_R + C_E \quad \text{معادله (1)}$$

بر اساس منابع مختلف در هر گرم ماده خشک حدود 0/45 گرم

1- Mitigation
2- Net Primary Production
3- Gross Primary Production

www.SID.ir

Archive of SID

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:

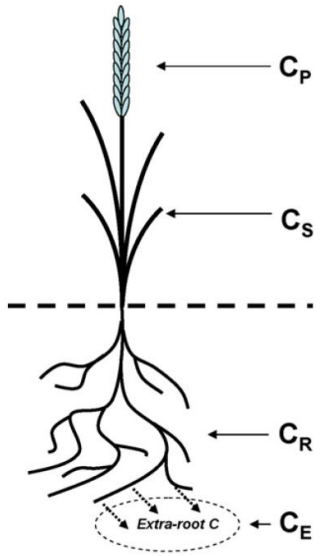
معادله (2) C_P = عملکرد اندام اقتصادی × 0/45

معادله (3) C_S = (عملکرد اندام اقتصادی / HI) (1-HI) × 0/45

معادله (4) C_R = (عملکرد اندام اقتصادی / S:R × HI) × 0/45

معادله (5) $C_E = C_R \times 0/65$

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، S:R: نسبت اندام هوایی به زیرزمینی و C_E: کربن شامل ترشحات ریشه و کربن غیر قابل محاسبه می‌باشد. که مقدار این کربن بر اساس منابع مختلف (Gill et al., 2002; Bolinder et al., 2007) حدود 65 درصد کربن موجود در ریشه در نظر گرفته می‌شود. همچنین تولید خالص اولیه بر اساس کربن برای اندام هوایی ($ANPP_c$)[1] و زیرزمینی ($BNPP_c$)[2] نیز به ترتیب از مجموع میزان کربن اختصاص یافته به اندام‌های هوایی (شامل C_S و C_P) و زیرزمینی (شامل C_R و C_E) برآورد شد (Bolinder et al., 2007).



شکل 1- تسهیم کربن در اندام‌های مختلف گیاه زراعی
Fig. 1- Carbon allocation in different tissues of crop

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

همچنین سهم نسبی هر کدام از اندام‌های مختلف گیاهی از تولید خالص کربن با استفاده از معادلات (6) تا (9) محاسبه گردید (Bolinder et al., 2007):

معادله (6) $R_P = C_P / NPP_c$

معادله (7) $R_S = C_S / NPP_c$

معادله (8) $R_R = C_R / NPP_c$

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

که در این معادلات R_P، R_S، R_R و R_E: به ترتیب نشان‌دهنده سهم نسبی اندام اقتصادی، کاه و کلش، ریشه و ترشحات ریشه از کل کربن موجود در گیاه می‌باشند. برای گیاه یونجه C_P: اندام اقتصادی مورد استفاده برای دام و C_S: کاه و کلش خشبی که در زمین باقی می ماند در نظر گرفته شد. ضمناً در ضرایب فوق معادله (10) نیز باید صادق باشد:

معادله (10) $R_P + R_S + R_R + R_E = 1$

اطلاعات مربوط به شاخص برداشت و نسبت اندام هوایی به زیرزمینی، از طریق مطالعات انجام گرفته در کشور برای محصولات مختلف و نیز نمونه‌گیری از محصولات زراعی مورد مطالعه در نقاط مختلف کشور به دست آمد. برای گیاه یونجه، مجموع چین‌های برداشت شده در کل طول فصل رشد به عنوان اندام هوایی مد نظر قرار گرفت. برای گیاهان یک‌ساله زیست‌توده گیاه در مرحله رسیدگی لحاظ گردید.

همچنین استان‌های کشور به چهار اقلیم مرطوب خزری (استان‌های گیلان، مازندران و گلستان)، گرم و خشک (استان‌های قم، سمنان، اصفهان، کرمان، یزد، خراسان، سیستان و بلوچستان، تهران و قزوین)، سرد و کوهستانی (اردبیل، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویر احمد، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، زنجان، همدان، مرکزی، کردستان، لرستان، ایلام و کرمانشاه) و گرم و مرطوب جنوبی (بوشهر، هرمزگان، خوزستان و فارس) تقسیم بندی شده (Yousefi & Famili, 2008) و میزان NPP_c برای اقلیم‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

بعد از محاسبه میزان کربن خالص تولیدی در محصولات مختلف، میزان بقایای باقی مانده در مزارع پس از برداشت هر محصول که منبع کربن ورودی می‌باشد، از طریق اندازه‌گیری بقایای باقیمانده محصولات در مزارع مختلف و نیز پرسشنامه‌های که در اختیار کشاورزان قرار داده شد، تعیین گردید. همچنین برای تعیین میزان

www.SID.ir

Archive of SID

پتانسیل ورودی کربن از طریق محصولات زراعی مورد مطالعه، فرض بر این گرفته شد که کل زیست‌توده تولیدی به غیر از اندام اقتصادی به خاک بازگردانده شود و اختلاف بین میزان واقعی و پتانسیل کربن ورودی به عنوان خلاء ورودی کربن در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

شاخص برداشت و ضرایب تسهیم کربن

میزان شاخص برداشت، نسبت اندام هوایی به زیرزمینی و همچنین واریانس این صفات که ناشی از نوع رقم و خصوصیات منطقه می‌باشد، در جدول 1 نشان داده شده است. بیشترین شاخص برداشت در بین گیاهان مورد مطالعه مربوط به گیاه یونجه با شاخص برداشت 90% و کمترین شاخص برداشت در گیاه پنبه به میزان 30% بود. بیشترین واریانس مشاهده شده در شاخص برداشت برای گیاه نخود (9%±) و کمترین واریانس مربوط به برنج و یونجه (3%±) بود. بیشترین و کمترین نسبت اندام هوایی به زیرزمینی در بین گیاهان مورد مطالعه به ترتیب مربوط به ذرت (6/9) و یونجه (2/2) بود. بیشترین واریانس مشاهده شده در نسبت اندام هوایی به زیرزمینی در گیاه ذرت با واریانس 1± و کمترین واریانس در نخود و پنبه با واریانس 0/4± بود (جدول 1) که دلیل این واریانس و اختلاف را می‌توان به شرایط مختلف آب و هوایی، بافت خاک و مدیریت زراعی نسبت داد. با توجه به این که 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 چنین بیان کرد که اثر این دو صفت بر میزان تولید خالص کربن و همچنین ورودی کربن منفی می‌باشد (Bolinder et al., 2007). به عبارتی، کمتر بودن میزان این صفات با پتانسیل بالای ورودی کربن به خاک همراه خواهد بود و گیاهانی که شاخص برداشت و نسبت اندام هوایی به زیرزمینی کمتری دارند، پتانسیل بالایی در ترسیب کربن خواهند داشت هرچند میزان تولید گیاه نیز در این امر نقش به سزایی دارد.

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., 2008).

جدول 1- شاخص برداشت (HI)، نسبت اندام هوایی به زیرزمینی (S:R) و ضریب تسهیم کربن در اندام‌های مختلف گیاه

Table 1- Harvest index (HI), shoot-to-root (S:R) ratios and allocation coefficients in different parts of crops

R_E	R_R	R_S	R_P	S:R	شاخص برداشت HI	
0.09	0.13	0.43	0.35	5.8 ± 0.7	45 ± 6	گندم Wheat
0.11	0.16	0.37	0.37	4.5 ± 0.6	50 ± 4	جو Barely
0.08	0.12	0.44	0.36	6.7 ± 0.5	45 ± 3	برنج Rice
0.08	0.12	0.44	0.37	6.9 ± 1.0	46 ± 5	ذرت Maize
0.17	0.26	0.06	0.51	2.2 ± 0.5	90 ± 3	یونجه Alfalfa
0.12	0.19	0.31	0.38	3.6 ± 0.4	55 ± 9	نخود Chickpea
0.12	0.19	0.48	0.21	3.7 ± 0.4	30 ± 8	پنبه Cotton

R_P، Rs، R_R و R_E: به ترتیب نشان‌دهنده سهم نسبی کربن در اندام اقتصادی، کاه و کلش، ریشه و ترشحات ریشه.

R_P, R_S, R_R and R_E: indicate relative plant C allocation coefficients in seed, straw, root and extra-root material, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

سهم نسبی کربن در اندام‌های مختلف گیاهی از کل کربن موجود در گیاه نیز در جدول 1 آورده شده است. در اکثر گیاهان به غیر از یونجه و نخود، بیشترین کربن موجود در گیاه به کاه و کلش اختصاص یافته و سهم ترشحات ریشه از کل کربن موجود در گیاه در تمام گیاهان مورد مطالعه کمتر از سایر اندام‌ها بود (جدول 1). بیشترین کربن اختصاص یافته به اندام اقتصادی و اندام‌های زیرزمینی (شامل ریشه و ترشحات آن) در بین گیاهان مربوط به گیاه یونجه بود که می‌توان دلیل این امر را علوفه‌ای بودن این گیاه بیان کرد. کمترین کربن اختصاص یافته به اندام اقتصادی در بین گیاهان مختلف در گیاه پنبه با ضریب تخصیص کربن 0/21 بود (جدول 1). به نظر می‌رسد دلیل این امر از طرفی شاخص برداشت پایین گیاه پنبه و از طرف دیگر، دانه روغنی بودن این گیاه که از ضریب تبدیل پایینی برخوردار می‌باشد، باشد. برنج و ذرت در مقایسه با سایر گیاهان مورد مطالعه کمترین کربن اختصاص یافته به ترشحات ریشه (با ضریب تخصیص کربنی برابر 0/08) را داشتند (جدول 1). بولیندر و همکاران (Bolinder et al., 2007) نیز گزارش کردن که ضریب نسبی تسهیم کربن به ترشحات ریشه در گیاه ذرت پایین بوده و در حدود 0/089 می‌باشد، همچنین گزارش کردند که ضرایب تسهیم کربن برای اندام اقتصادی، کاه و کلش و ریشه ذرت به ترتیب برابر با 0/37، 0/39 و 0/14 می‌باشد.

تولید خالص اولیه بر اساس کربن (NPP_c)

دو اقلیم سرد کوهستانی و مرطوب خزری به ترتیب بیشترین و کمترین میزان سالانه NPP_c را برای گندم دارا بودند (جدول 2). از آنجایی که اقلیم سرد کوهستانی شامل تعداد استان‌های بیشتری نسبت به سه اقلیم دیگر می‌باشد و همچنین تعداد استان‌ها در اقلیم مرطوب خزری کمتر از دیگر مناطق می‌باشد، به نظر می‌رسد که اختلاف سالانه NPP_c گندم مربوط به اختلاف در سطح مورد بررسی باشد. تولید خالص اولیه بر اساس کربن برای بخش زیرزمینی و هوایی گندم نیز از روند بالا تبعیت کرد (جدول 2). حال آن‌که در بررسی میزان NPP_c برای گیاه گندم به ازای سطح مشاهده شد که بیشترین میزان تولید خالص اولیه کربن هم در بخش زیرزمینی ($kg\ C.ha^{-1}\ year^{-1}$ 781) و هوایی ($2747\ kg\ C.ha^{-1}\ year^{-1}$) و هم کل گیاه ($kg\ C.ha^{-1}\ year^{-1}$ ۳۵۲۸) در منطقه مرطوب خزری حاصل شد، حال آن که میزان NPP_c به ازای سطح در دو اقلیم گرم و مرطوب جنوبی و گرم و خشک نسبت به دیگر مناطق کمتر بود (جدول 2). این نشان‌دهنده میزان تولید بیشتر زیست توده گندم در هکتار در دو منطقه مرطوب خزری و سرد کوهستانی نسبت به دو منطقه گرم و خشک و گرم و مرطوب می‌باشد. هویدوکس و همکاران (Hoyaux et al., 2008) نیز میزان تولید خالص اولیه بر اساس کربن را برای کشور بلژیک مورد بررسی قرار دادند و مقدار آن را حدود 2700 کیلوگرم کربن در هکتار در سال گزارش کردند. این مقدار برای ژاپن حدود 7/59 مگاگرم کربن در سال به دست آمد (Koga et al., 2011). از طرفی باردواج و همکاران (Bhardwaj et al., 2011) نیز میزان تولید خالص اولیه کربن در بخش هوایی گندم برای امریکا را به طور میانگین حدود 4/5 مگاگرم کربن در هکتار در سال گزارش نمودند.

کمترین میزان سالانه تولید خالص اولیه هم در بخش هوایی و زیرزمینی و هم برای کل گیاه جو بر اساس کربن (گیگاگرم کربن در سال) در استان‌های واقع در اقلیم‌های گرم و مرطوب و مرطوب خزری کشور به دست آمد و اقلیم سرد کوهستانی بیشترین مقدار این صفت را دارا بود (جدول 2). این اختلاف مانند گندم رابطه مستقیمی با سطح زیر کشت در هر اقلیم دارد. اقلیم مرطوب خزری و سرد کوهستانی (به ترتیب با 3617 و 3123 $kg\ C.ha^{-1}\ year^{-1}$) نسبت به دو اقلیم گرم و خشک و گرم و مرطوب جنوبی (به ترتیب با 2747 و 1775 $kg\ C.ha^{-1}\ year^{-1}$) NPP_c بیشتری را به ازای سطح نشان دادند (جدول 2). این شرایط برای اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه جو نیز صادق بود.

گیاه برنج شرایط متفاوتی را در میزان NPP_c نسبت به دو گیاه جو و گندم نشان داد، به طوری که با اینکه اقلیم مرطوب خزری دارای سطح مورد بررسی کمتری نسبت به دیگر اقلیم‌ها بود، ولی میزان تولید خالص اولیه آن بر اساس کربن (2972 گیگاگرم کربن در سال) بیشتر از دیگر مناطق بود (جدول 2). میزان NPP_c در اقلیم‌های گرم و خشک، سرد کوهستانی و گرم و مرطوب به ترتیب با 130، 81 و 559 $kg\ C.ha^{-1}\ year^{-1}$ خیلی کمتر از اقلیم مرطوب خزری بود. این مطلب نشان‌دهنده اهمیت کشت و کار برنج در منطقه مرطوب خزری می‌باشد. میزان تولید خالص اولیه کربن برای بخش زیرزمینی و هوایی نیز در اقلیم خزری بالاتر از دیگر اقلیم‌ها بود و اقلیم سرد کوهستانی نیز کمترین میزان این صفت را در بین اقلیم‌های کشور دارا بود (جدول 2).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 2- میزان تولید خالص اولیه بر اساس کربن در کل گیاه (NPP_C) و سهم اندام‌های هوایی ($ANPP_C$) و زیرزمینی ($BNPP_C$) گیاهان مختلف از آن در مناطق مختلف آب و هوایی کشور

Table 2- Net primary productivity based on carbon (NPP_C), aboveground net primary productivity based on carbon ($ANPP_C$), and belowground net primary productivity based on carbon ($BNPP_C$) in different crops under various climates

گرم و مرطوب Wet-warm		سرد کوهستانی cold-mountain		گرم و خشک dry-warm		مرطوب خزری Khazari-wet		صفت Trait	گیاه Crop
کیلوگرم کربن در هکتار در سال (Kg C. ha^{-1} year^{-1})	گیگاگرم کربن در سال (Gg C. year^{-1})	کیلوگرم کربن در هکتار در سال (Kg C. ha^{-1} year^{-1})	گیگاگرم کربن در سال (Gg C. year^{-1})	کیلوگرم کربن در هکتار در سال (Kg C. ha^{-1} year^{-1})	گیگاگرم کربن در سال (Gg C. year^{-1})	کیلوگرم کربن در هکتار در سال (Kg C. ha^{-1} year^{-1})	گیگاگرم کربن در سال (Gg C. year^{-1})		
1856.2	2326.5	2600.9	10446.5	2096.1	2764.2	2746.9	1226.2	$ANPP_C$	گندم
528.1	661.9	739.9	2971.8	596.3	786.4	781.4	348.8	$BNPP_C$	Wheat
2384.3	2988.4	3340.8	13418.3	2692.5	3550.6	3528.3	1575.1	NPP_C	
1298.8	297.3	2285.3	1792.3	2009.9	921.2	2646.4	298.1	$ANPP_C$	جو
476.2	109.0	837.9	657.2	737.0	337.8	970.4	109.3	$BNPP_C$	Barely
1775.1	406.4	3123.2	2449.5	2746.9	1259.0	3616.8	407.4	NPP_C	
6112.2	449.0	4372.5	65.7	4950.7	104.3	5280.2	2385.4	$ANPP_C$	برنج
1505.2	110.6	1076.8	16.2	1219.2	25.7	1300.3	587.4	$BNPP_C$	Rice
7617.4	559.6	5449.3	81.9	6169.9	130.0	6580.5	2972.8	NPP_C	
4215.4	550.2	4740.7	256.1	7148.2	387.1	2912.5	4.4	$ANPP_C$	ذرت
1008.0	131.6	1133.7	61.2	1709.4	92.6	696.5	1.1	$BNPP_C$	Maize
5223.5	681.7	5874.4	317.3	8857.6	479.7	3609.0	5.5	NPPc	
2493.3	64.4	2818.5	1058.7	3062.9	576.1	4143.0	37.9	$ANPP_C$	یونجه
1870.0	48.3	2113.9	794.0	2297.2	432.1	3107.3	28.5	$BNPP_C$	Alfalfa
4363.2	112.7	4932.3	1852.8	5360.1	1008.2	7250.3	66.4	NPPc	
1195.3	3.6	583.2	283.4	670.1	12.8	947.3	0.5	$ANPP_C$	نخود
547.8	1.7	267.3	129.9	307.1	5.9	434.2	0.2	$BNPP_C$	Chickpea
1743.1	5.3	850.5	413.2	977.3	18.6	1381.4	0.7	NPPc	
3129.9	28.8	2743.2	18.7	2881.3	205.8	2480.1	21.2	$ANPP_C$	پنبه
1395.8	12.8	1223.3	8.3	1284.9	91.8	1106.0	9.5	$BNPP_C$	Cotton
4525.7	41.6	3966.5	27.1	4166.1	297.6	3586.1	30.7	NPPc	

بیشترین و کمترین میزان سالانه تولید خالص اولیه بر اساس کربن در هکتار برای کل گیاه و در اندام‌های زیرزمینی و هوایی به ترتیب در اقلیم گرم و مرطوب جنوبی و سرد کوهستانی مشاهده شد. با این وجود بین اقلیم مرطوب خزری و گرم و خشک اختلاف چشم‌گیری مشاهده نشد (جدول 2). به نظر می‌رسد که اقلیم گرم و مرطوب جنوبی شرایط مناسب‌تری برای تولید برنج داشته و در این منطقه این گیاه زیست توده بالاتری تولید می‌نماید.

بررسی میزان NPP_c برای گیاه ذرت نیز نشان داد که میزان این صفت هم از لحاظ تولید کل و هم تولید در هکتار در بین اقلیم‌های مختلف کشور متفاوت بود. نتایج نشان داد که میزان سالانه NPP_c در اقلیم گرم و مرطوب جنوبی و گرم خشک بیشتر از اقلیم‌های سرد کوهستانی و مرطوب خزری بود و در این بین دو اقلیم مرطوب خزری و گرم و مرطوب جنوبی با دارا بودن به ترتیب 5/5 و 682 گیگاگرم کربن در سال تولید خالص اولیه بر اساس کربن به ترتیب کمترین و بیشترین میزان این صفت را در سطح کشور دارا بودند (جدول 2). بررسی میزان تولید خالص اولیه کربن در بخش زیرزمینی و هوایی ذرت نیز نتایج مشابه با کل گیاه را نشان داد، به طوری‌که اقلیم‌های گرم و مرطوب جنوبی و مرطوب خزری به ترتیب بیشترین و کمترین میزان این صفات را دارا بودند (جدول 2). دو اقلیم گرم و خشک و مرطوب خزری به ترتیب بیشترین و کمترین میزان تولید خالص اولیه در هکتار را هم برای بخش زیرزمینی و هوایی و هم کل گیاه دارا بودند (جدول 2). کوگا و همکاران (Koga et al., 2011) میزان

www.SID.ir

Archive of SID

NPP_c برای ذرت را در ژاپن حدود 8/75 مگا گرم کربن در هکتار در سال گزارش نمودند. همچنین باردواج و همکاران (Bhardwaj et al., 2011) نیز میزان تولید خالص اولیه کربن در بخش هوایی ذرت را به طور میانگین حدود 10/5 مگاگرم کربن در هکتار در سال در آمریکا گزارش نمودند. به طور کلی، بررسی NPP_c برای گیاه ذرت نشان داد که‌این صفت در اقلیم‌های گرم نسبت به اقلیم‌های سرد و مرطوب از مقدار بیشتری برخوردار بود و از آنجایی که ذرت یک گیاه با مسیر فتوسنتزی C_4 و گرما دوست می‌باشد، این امر طبیعی به نظر می‌رسد.

بیشترین مقدار تولید اولیه کربن برای بخش زیرزمینی و هوایی یونجه در اقلیم سرد کوهستانی و کمترین مقدار آن در اقلیم مرطوب خزری مشاهده شد (جدول 2). این روند برای کل گیاه یونجه نیز صادق بود. به نظر می‌رسد که این امر به دلیل کمتر بودن مساحت اقلیم مرطوب خزری نسبت به اقلیم‌های دیگر و در عوض بیشتر بودن مساحت اقلیم سرد کوهستانی باشد. با وجود این که NPP_c برای گیاه یونجه در اقلیم خزری کمتر از اقلیم‌های دیگر بود، ولی میزان آن به ازای سطح در این اقلیم بیشتر از دیگر اقلیم‌ها بود و اقلیم گرم و مرطوب جنوبی نیز دارای کمترین میزان سالانه تولید خالص اولیه بر اساس کربن به ازای سطح هم در بخش زیرزمینی و هوایی و هم برای کل گیاه یونجه بود (جدول 2).

بررسی میزان NPP_c برای گیاه نخود نشان داد که مقدار کل تولید خالص اولیه بر اساس کربن در اقلیم مرطوب خزری (برای بخش هوایی، زیرزمینی و کل گیاه به ترتیب 0/5، 0/2 و 0/7 Gg C. $year^{-1}$) نسبت به دیگر اقلیم‌های بسیار ناچیز بود و بیشترین مقدار آن در اقلیم سرد کوهستانی حاصل شد (جدول 2). اقلیم گرم و مرطوب جنوبی نیز با دارا بودن 1743 kg $C.ha^{-1}$ $year^{-1}$ دارای بیشترین و اقلیم سرد کوهستانی نیز کمترین مقدار این صفت را برای گیاه نخود دارا بود (جدول 2). نتایج نشان داد که اقلیم سرد کوهستانی با این که بیشترین مقدار کل تولیدی NPP_c را دارا بود، ولی به ازای هکتار کمترین مقدار آن را شامل شد که این نشان‌دهنده تولید زیست توده پایین نخود در منطقه سرد کوهستانی نسبت به دیگر اقلیم‌ها بود، ولی در عوض میزان NPP_c به ازای سطح در دو منطقه مرطوب خزری و گرم و مرطوب جنوبی مناسب‌تر از دیگر اقلیم‌ها بود (جدول 2). بولیندر و همکاران (Bolinder et al., 2007) میزان NPP_c را برای گیاهان یک‌ساله در کانادا حدود 360 گرم کربن در مترمربع در سال گزارش کردند.

منطقه گرم و خشک دارای بیشترین و دو منطقه مرطوب خزری و سرد کوهستانی دارای کمترین میزان NPP_c برای گیاه پنبه بودند که این روند برای بخش زیرزمینی و هوایی پنبه نیز صادق بود (جدول 2). حال آن‌که دو منطقه گرم و خشک و گرم و مرطوب خزری با دارا بودن بیش از چهار تن تولید در هکتار، بیشترین میزان NPP_c را به ازای سطح شامل شدند و کمترین مقدار آن نیز در دو منطقه مرطوب خزری و سرد کوهستانی مشاهده شد (جدول 2). این موضوع نشان‌دهنده شرایط مناسب‌تر دو منطقه گرم خشک و گرم و مرطوب جنوبی برای رشد و به تبع آن تولید زیست توده گیاه پنبه می‌باشد.

نتایج نشان داد که در اقلیم معتدل خزری از بین گیاهان زراعی مورد بررسی، دو گیاه برنج و یونجه بیشترین نسبت را در تولید خالص اولیه گیاهان زراعی بر اساس کربن دارا بودند و گیاه نخود نیز کمترین مقدار آن را شامل شد (شکلA-2). دیگر گیاهان زراعی مورد بررسی با دارا بودن نسبت حدود 12 درصد سهم یکسانی از کل تولید خالص اولیه کربن را به خود اختصاص دادند. این نشان‌دهنده نقش مهم دو گیاه برنج و یونجه در سیستم زراعی منطقه مرطوب خزری می‌باشد. در هر دو منطقه گرم و خشک و سرد و کوهستانی دو گیاه ذرت و نخود به ترتیب بیشترین و کمترین سهم نسبی را از کل NPP_C در این منطقه دارا بودند (شکلB،C-2). در هر دو منطقه مذکور، برنج و یونجه با دارا بودن به ترتیب حدود 19 و 17 درصد از کل NPP_C بعد از ذرت بیشترین سهم را در تولید خالص اولیه کربن برای این مناطق شامل شدند (شکل 2). پرینس و همکاران (Prince et al., 2001) نیز با بررسی میزان NPP در سیستم‌های زراعی در آمریکا، میزان NPP را حدود 17 $Mg.ha^{-1}$ $year^{-1}$ برای جنوب غربی این کشور گزارش کردند و بیان نمودند که دو گیاه ذرت و سورگوم (*Sorghum Moench L.*) بیشترین سهم را در میزان NPP این کشور دارا بودند. در منطقه گرم و مرطوب جنوبی نیز دو گیاه برنج و ذرت به ترتیب با 28 و 19 درصد بیشترین نسبت از کل NPP_C در این منطقه را به خود اختصاص دادند و مانند دیگر مناطق کمترین میزان آن مربوط به گیاه نخود بود (شکلD-2).

سهم گندم از NPP_C در بین اقلیم‌های مورد بررسی در دو اقلیم مرطوب خزری و سرد کوهستانی (با حدود 12 درصد) بیشتر از اقلیم‌های دیگر بود و این شرایط برای گیاه جو نیز صادق بود (شکل2). در منطقه گرم و مرطوب جنوبی برنج بیشترین سهم نسبی

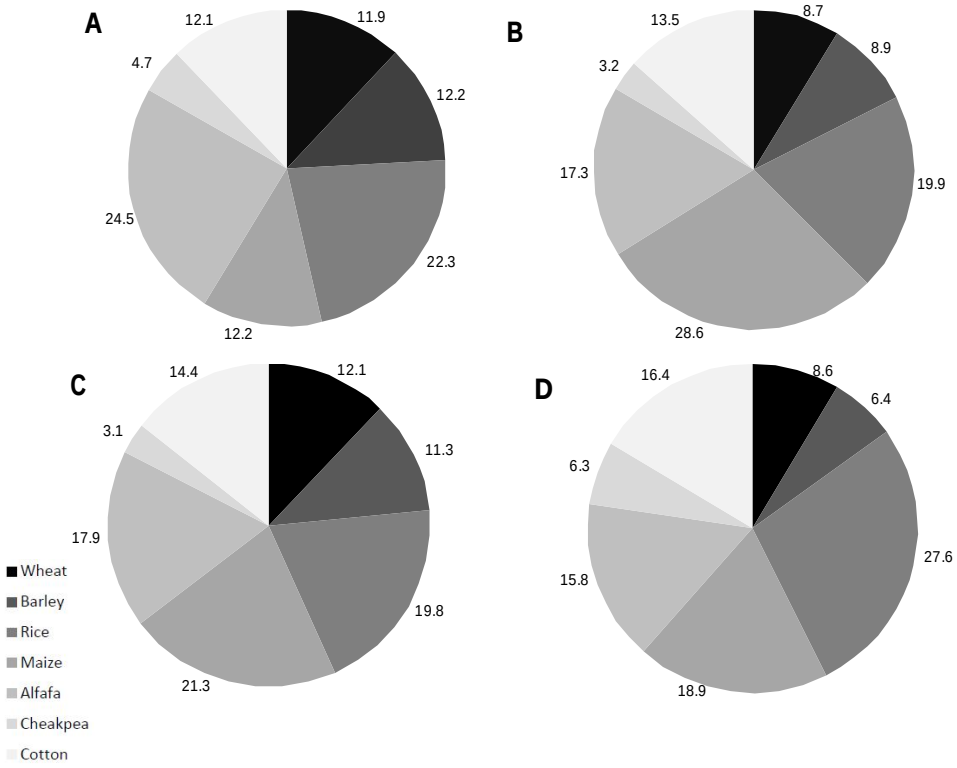
www.SID.ir

Archive of SID

را از NPP_C نسبت به دیگر اقلیم‌ها دارا بود و بعد از آن نیز در منطقه مرطوب خزری برنج از اهمیت بیشتری برخوردار بود. دو اقلیم گرم و خشک و مرطوب خزری به ترتیب بیشترین و کمترین سهم نسبی ذرت از کل NPP_C را دارا بودند (شکل2). در مورد گیاه یونجه نیز در اقلیم مرطوب خزری این گیاه نسبت به دیگر اقلیم‌ها سهم بیشتری در کل NPP_C منطقه داشت و در منطقه گرم و مرطوب جنوبی از اهمیت کمتری برخوردار بود (شکل2). در همه مناطق سهم گیاه نخود از کل NPP_C نسبت به دیگر گیاهان کمتر بود، با این وجود در منطقه گرم و مرطوب جنوبی شرایط بهتری داشت (شکل2). گیاه پنبه در بین اقلیم‌های مختلف اختلاف چندانی از نظر سهم آن در تشکیل NPP_C نشان نداد، با این وجود در منطقه گرم و مرطوب جنوبی نسبت بیشتری از NPP_C را شامل شد (شکل2).

ورودی کربن

از آنجایی که، پیش بینی تغییرات بودجه کربن نیازمند برآورد تولید خالص اولیه و تعیین میزان حجم برگردانده شده تولید اولیه خالص به خاک می‌باشد، بنابراین با برآورد ورودی کربن به خاک می‌توان تغییرات در بودجه کربن خاک و همچنین میزان ترسیب کربن را تخمین زد (Paustian et al., 1997; Grogan & Matthews, 2002; Bolinder et al., 2007; Campbell et al., 2000; Izaurralde et al., 2001). بدین ترتیب، برآورد ورودی کربن به عنوان یکی از مهمترین عوامل تعیین کننده برای تخمین میزان تغییرات کربن خاک می‌باشد (Bolinder et al., 2007). بیشترین میزان ورودی کربن در واحد سطح در بین گیاهان مورد مطالعه و مناطق مختلف در منطقه خزری و برای گیاه یونجه با میزان ورودی کربنی معادل 3150 کیلوگرم کربن در هکتار در سال و کمترین ورودی کربن مربوط به گیاه نخود در منطقه سرد کوهستانی با 277 کیلوگرم کربن در هکتار در سال بود (شکل 3).



شکل2- سهم گیاهان زراعی مورد بررسی از NPP_C در اقلیم‌های مختلف کشور

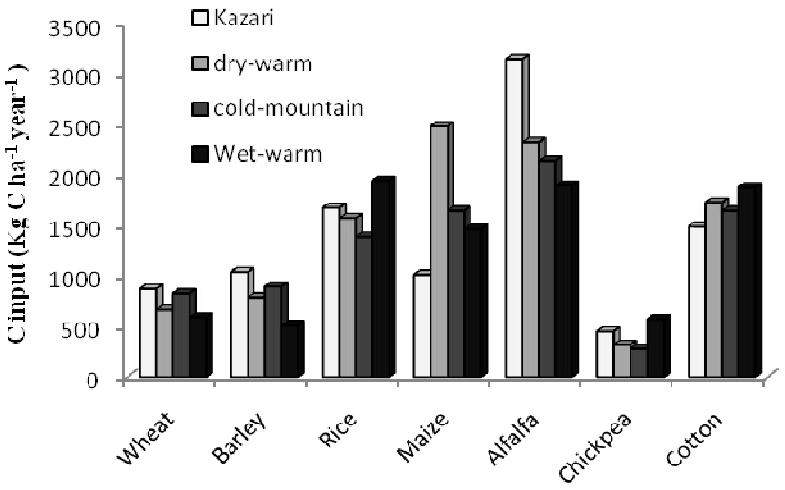
Fig. 2- The share of different crops from NPP_C in various climates

A، B، C و D به ترتیب نشان‌دهنده اقلیم‌های مرطوب خزری، گرم و خشک، سرد کوهستانی و گرم و مرطوب جنوبی می‌باشند.

A, B, C, D indicated the Khazari, warm-dry, cold and warm-wet climates, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 3- میزان کربن ورودی محصولات مختلف در مناطق مختلف آب و هوایی کشور
Fig. 3- Annual C input of different crops under various climates

بنابراین می‌توان بیان کرد که کشت یونجه در منطقه خزری بیشترین کارآیی ترسیب کربن را در مقایسه با سایر مناطق مختلف کشور و گیاهان مورد بررسی دارا می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان عملکرد بالای یونجه در منطقه خزری و همچنین پایین بودن نسبت S/R در گیاه یونجه در مقایسه با سایر گیاهان بیان کرد. کمترین ورودی کربن در مناطق خزری، گرم و خشک و سرد کوهستانی در گیاه نخود (به ترتیب با 451، 319 و 277 کیلوگرم کربن در هکتار در سال) و در منطقه گرم و مرطوب در گیاه جو (508 کیلوگرم کربن در هکتار در سال) مشاهده شد (شکل 3).

در منطقه گرم و خشک بیشترین ورودی کربن از طریق گیاه ذرت (2480 کیلوگرم کربن در هکتار در سال) در مقایسه با سایر گیاهان مورد مطالعه حاصل شد، در صورتی که در منطقه سرد کوهستانی کشت یونجه (2140 کیلوگرم کربن در هکتار در سال) بیشترین ورودی کربن را در مقایسه با سایر گیاهان داشت و در منطقه گرم و مرطوب نیز گیاه برنج با 1940 کیلوگرم کربن در هکتار در سال بالاترین ورودی کربن را نسبت به کشت سایر گیاهان دارا بود (جدول 3). بولیندر و همکاران (Bolinder et al., 2007) میانگین میزان ورودی کربن توسط گندم در کشور کانادا را حدود 137 گرم کربن در مترمربع در سال و برای یونجه حدود 200 گرم کربن در مترمربع در سال برآورد کردند که این میانگین برای کشور ایران در گندم حدود 74 و در یونجه معادل 238 گرم کربن در مترمربع در سال برآورد گردید.

کشت گیاهان گندم و جو در مناطق خزری و سرد کوهستانی نسبت به مناطق گرم- خشک و گرم- مرطوب، کربن بیشتری را در واحد سطح وارد خاک می‌کند، در صورتی که کشت پنبه در مناطق گرم- خشک و گرم- مرطوب عملکرد بالاتری در کربن ورودی به خاک نسبت به کشت در مناطق خزری و سرد کوهستانی دارد (شکل 3). کشت برنج و نخود نیز در مناطق خزری و گرم- مرطوب در مقایسه با سایر مناطق آب و هوایی کشور کربن بیشتری را وارد خاک کرده و در این مناطق کارآیی بیشتری در ترسیب کربن نسبت به مناطق گرم- خشک و سرد کوهستانی دارد که دلیل این امر را می‌توان به عملکرد بالای این گیاهان در مناطق خزری و گرم- مرطوب نسبت داد (شکل 3). همچنین با توجه به شکل 3 می‌توان بیان کرد که کشت ذرت در منطقه گرم و خشک در مقایسه با سایر مناطق کشور عملکرد و کارآیی بالاتری در ترسیب کربن دارا می‌باشد.

میزان واقعی، پتانسیل و خلاء ترسیب کربن

با توجه به این که در اکثر مناطق کشور بعد از برداشت محصول، بقایای گیاهی که بیشتر شامل کاه و کلش باقی مانده از گیاهان می‌باشد، به صورت علوفه مورد چرا قرار داده شده و یا سوزانده می‌شوند، بنابراین میزان ورودی واقعی کربن به خاک کاهش می‌یابد. بنابراین در صورتی که کل بقایای گیاهی بعد از برداشت محصول در

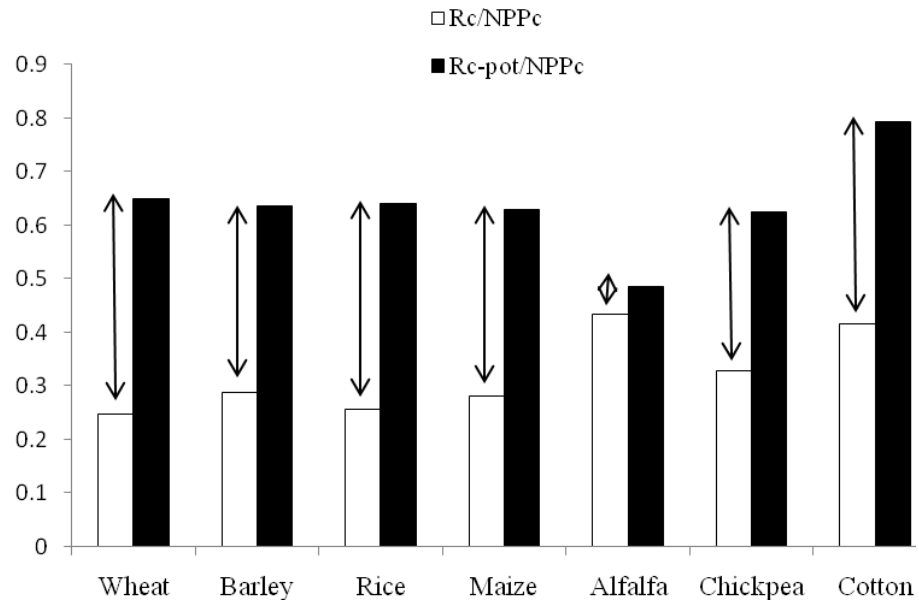
www.SID.ir

Archive of SID

سطح خاک باقی بمانند، میزان ورودی کربن و ترسیب آن افزایش می‌یابد که به عنوان پتانسیل ورودی کربن گیاهی به خاک می‌تواند در نظر گرفته شود و در نتیجه اختلاف بین میزان واقعی و پتانسیل ورودی کربن به عنوان خلاء ترسیب کربن قابل تصور می‌باشد. دامنه تغییرات نسبت کربن ورودی واقعی به خاک از کل کربن خالص گیاه از 0/24 تا 0/43 متغیر بود در حالی‌که این نسبت برای شرایط پتانسیل از 0/48 تا 0/79 بود که بسته به نوع گیاه متفاوت بود (شکل 4). در بین گیاهان مورد بررسی، یونجه و پنبه دارای بیشترین سهم نسبی کربن ورودی به خاک از کل کربن خالص گیاه به ترتیب با نسبت‌های 0/43 و 0/41 بودند (شکل 4) که در حقیقت یونجه به دلیل تولید عملکرد بالا و همچنین نسبت S/R پایین و گیاه پنبه به دلیل پایین بودن شاخص برداشت و نسبت S/R، کربن بیشتری را از کل کربن گیاه وارد خاک می‌کنند. کمترین سهم نسبی کربن ورودی به خاک از کل کربن گیاه نیز مربوط به گیاهان گندم و برنج به ترتیب با نسبت‌های 0/24 و 0/25 بود (شکل 4). اختلاف موجود بین میزان واقعی و پتانسیل ورودی کربن در گیاهان گندم، برنج و پنبه بیشترین خلاء را به ترتیب با مقادیر 0/4، 0/38 و 0/37 نشان دادند که بیانگر امکان افزایش قابلیت ترسیب کربن از طریق این گیاهان می‌باشد (شکل 4) به عبارتی با مدیریت مناسب و برگرداندن بقایای گیاهی به خاک می‌توان کارآیی ترسیب کربن را در این محصولات زراعی به ترتیب تا حدود 65، 64 و 79 درصد از کل کربن گیاه افزایش داد. کمترین خلاء بین میزان واقعی و پتانسیل ترسیب کربن در گیاه یونجه مشاهده شد، به طوری که میزان واقعی ترسیب کربن 43 درصد از کل کربن گیاه و میزان پتانسیل آن 48 درصد از کل کربن موجود در گیاه می‌باشد، بنابراین پتانسیل افزایش ترسیب کربن توسط این گیاه در مقایسه با سایر گیاهان کمترین مقدار را دارا می‌باشد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج نشان داد که سهم نسبی کربن در اندام‌های مختلف گیاهی از کل کربن موجود در گیاه، در بین گیاهان مورد بررسی متفاوت بود. در این بین یونجه نسبت به دیگر گیاهان مورد بررسی کربن بیشتری را به بخش زیرزمینی اختصاص داد و کربن حاصل از ترشحات ریشه در آن نیز بیشتر از دیگر گیاهان بود.



شکل 4- سهم نسبی کربن ورودی (Rc) و همچنین سهم نسبی پتانسیل کربن ورودی (Rc-pot) از میزان تولید خالص کربن در کل گیاه (NPPc)
Fig. 4- Relative ratio of C input (Rc) and Relative ratio of potential of C input (Rc-pot) from NPPc
فلش‌ها نشان‌دهنده خلاء موجود بین میزان پتانسیل و واقعی کربن می‌باشند.
The arrows indicate the gap between actual and potential carbon.

www.SID.ir

Archive of SID

این موضوع می‌تواند اهمیت یونجه را برای ترسیب کربن در خاک‌های ایران نشان دهد. در دیگر گیاهان مورد بررسی، بیشترین کربن موجود در گیاه به کاه و کلش اختصاص یافته بود و بنابراین، با مدیریت مناسب کاه و کلش می‌توان میزان ترسیب کربن در این گیاهان را بهبود بخشید. میزان NPP_C به طور سالانه (بر اساس $Gg\ C.year^{-1}$) در اقلیم‌های مختلف کشور رابطه مستقیمی با تعداد استان‌های مورد بررسی در هر اقلیم داشت. به طوری‌که به استثنای برنج در دیگر گیاهان مورد بررسی، اقلیم مرطوب خزری به دلیل دارا بودن مساحت کمتر و اقلیم سرد کوهستانی به دلیل دارا بودن تعداد استان‌های بیشتر به ترتیب غالباً کمترین و بیشترین مقدار NPP_C را شامل شدند. در حالی‌که در بررسی میزان NPP_Cبه ازای سطح ($Kg\ C.ha^{-1}\ year^{-1}$) بیشترین مقدار NPP_Cبرای گندم، جو و یونجه در اقلیم مرطوب خزری، برای برنج، نخود و پنبه در اقلیم گرم و مرطوب جنوبی و برای ذرت در اقلیم گرم و خشک حاصل شد. گیاه یونجه در اقلیم معتدل خزری بیشترین نقش را در میزان NPP_C این اقلیم دارا بود و در اقلیم‌های گرم و خشک و سرد کوهستانی گیاه ذرت بیشترین سهم را در این مناطق داشت و برای اقلیم گرم و مرطوب جنوبی گیاه برنج از نقش بیشتری در مقدار NPP_C سیستم‌های زراعی برخوردار بود. در تمامی مناطق ایران، گیاه نخود کمترین تأثیر را در میزان NPP_C و در نتیجه ترسیب کربن برخوردار بود.

بیشترین میزان ورودی کربن در واحد سطح در بین گیاهان مورد مطالعه و مناطق مختلف در منطقه خزری و برای گیاه یونجه با میزان ورودی کربنی معادل 3150 کیلوگرم کربن در هکتار در سال و کمترین ورودی کربن مربوط به گیاه نخود در منطقه سرد کوهستانی با 277 کیلوگرم کربن در هکتار در سال بود. در منطقه گرم و خشک بیشترین ورودی کربن از طریق گیاه ذرت و در منطقه سرد کوهستانی کشت یونجه حاصل شد، حال آن که در منطقه گرم و مرطوب گیاه برنج بالاترین ورودی کربن را نسبت به کشت سایر گیاهان دارا بود.

سپاسگزاری

هزینه این پژوهش از محل پژوهه شماره 16255/2 مورخه 1389/10/12، معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Bhardwaj, A.K., Jasrotia, P., Hamilton, S.K., and Robertson, G.P. 2011. Ecological management of intensively cropped agro-ecosystems improves soil quality with sustained productivity. Agriculture, Ecosystems and Environment 140: 419-429.

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.

Campbell, C.A., Zentner, R.P., Liang, B.C., Roloff, G., Gregorich, E.G., and Blomert, B. 2000. Organic C accumulation in soil over 30 years in semiarid southwestern Saskatchewan—effect of crop rotations and fertilizers. Canadian Journal of Soil Science 80: 179-192.

Conen, F., and Smith, K.A. 1998. A re-examination of closed flux chamber methods for the measurement of trace gas emissions from soils to the atmosphere. European Journal of Soil Science 49: 701-707.

Gill, R.A., Kelly, R.H., Parton, W.J., Day, K.A., Jackson, R.B., Morgan, J.A., Scurlock, J.M.O., Tieszen, L.L., Castle, J.V., Ojima, D.S., and Zhang, X.S. 2002. Using simple environmental variables to estimate belowground productivity in grasslands. Global Ecology and Biogeography 11: 79-86.

Grogan, P., and Matthews, R. 2002. A modelling analysis of the potential for soil carbon sequestration under short rotation coppice willow bioenergy plantations. Soil Use Management 18: 175-183.

Hoyaux, J., Moureaux, C., Tourneur, D., Bodson, B., and Aubinet, M. 2008. Extrapolating gross primary productivity from leaf to canopy scale in a winter wheat crop. Agricultural and Forest Meteorology 148: 668 -679.

Huang, Y., Yu, Y., Zhang, W., Sun, W., Liu, S., Jiang, J., Wu, J., Yu, W., and Yang, Z. 2009. Agro-C: A biogeophysical model for simulating the carbon budget of agroecosystems. Agricultural and Forest Meteorology 149: 106-129.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2002. Climate change 2001: The scientific basis. Cambridge Univ.

www.SID.ir

Archive of SID

Press, New York. 118 pp.

Izaurralde, R.C., McGill, W.B., Robertson, J.A., Juma, N.G., and Thurston, J.J. 2001. Carbon balance of the Breton classical plots over half a century. Soil Science Society of America Journal 65: 431-441.

Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallti, 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).

Koga, N., Smithb, P., Yeluripatib, J.B., Shirato, Y., Kimurad, S.D., and Nemoto, M. 2011. Estimating net primary production and annual plant carbon inputs, and modelling future changes in soil carbon stocks in arable farmlands of northern Japan. Agriculture, Ecosystems and Environment 144: 51-60

Koocheki, A., and Hosseini, M. 2006. Climate Change and Global Crop Productivity. Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, Iran. 556 pp. (In Persian).

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

Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma 123: 1-22.

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 agro-ecosystem model. Agriculture, Ecosystems and Environment 139: 384-395.

Metting, F.B., Smith, J.L., and Amthor, J.S. 1999. Science needs and new technology for soil carbon sequestration. p. 1-35. Rosenberg Publishing.

Motha, R.P., and Baier, W. 2005. Impact of present and future climate change and climate variability on agriculture in the temoerate regions: North America. Climatic Change 70: 137-164.

Nassiri Mahallati, M., 2008. Crop Ecology in: Koocheki, A., and Khaje Hosseini, M. Modern agronomy. Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, Iran. 712 pp. (In Persian)

Paustian, K., Collins, H.P., and Paul, E.A. 1997. Management controls on soil carbon. In: Paul, E.A., et al. (Eds.), Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. Long-Term Experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, p. 15-49.

Prince, S.D., Haskett, J., Steininger, M., Strand, H., and Wright, R. 2001. Net primary production of U.S. Midwest croplands from agricultural harvest yield data. Ecological Applications 11: 1194-1205.

Prior, S.A., Torbert, H.A., Runion, G.B., Rodgers, H.H., Wood, C.W., Kimball, B.A., LaMorte, R.L., Pinter, P.J., and Wall, G.W. 1997. Free- air carbon dioxide enrichment of wheat: soil carbon and nitrogen dynamics. Journal of Environmental Quality 26: 1161-1166.

Salinger, M.J. 2005. Climate variability and change: past, present and future- an overview. Climate Change 70: 9-29.

Smith, P., Lanigan, G., Kutsch, W.L., Buchmann, N., Eugster, W., Aubinet, M., Ceschia, E., Beziat, P., Yeluripati, J.B., Osborne, B., Moors, E.J., Brut, A., Wattenbach, M., Saunders, M., and Jones, M. 2010. Measurements necessary for assessing the net ecosystem carbon budget of croplands. Agriculture, Ecosystems and Environment 139: 302-315.

Smith, W.N., Grant, B., Desgardins, R.L., Lemke, R., and Li, C. 2004. Emission of the interannual N_2O emission from agricultural soils in Canada. Nutrient Cycling in Agroecosystems 68: 37-45.

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.

Yousefi, N., and Famili, D. 2008. Weather and Climatology. Danesh Behbad Press. Iran. 306 pp. (In Persian)

www.SID.ir