



ارزیابی ضرایب تخصیص کربن و تولید خالص اولیه گیاهان عمده زراعی در استان خراسان رضوی

*سرور خرم‌دل^۱، پرویز رضوانی مقدم^۲ و فاطمه معلم بنهنگی^۳

^۱دانشیار گروه آگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، آستاد گروه آگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد،

^۲دانشجوی دکتری آگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۲۷

مقدمه

سابقه و هدف: افزایش غلظت دی اکسید کربن در جو، موجب افزایش توجه به بهبود ذخایر کربن خاک در بوم‌نظام‌های کشاورزی به‌منظور تخفیف اثرات تغییر اقلیم و بهبود کیفیت خاک شده است (۱۴ و ۲۶). پیش‌بینی تغییرات در مخازن کربن خاک به برآورد تولید خالص اولیه (NPP) و نسبت NPP برگردانیده شده به خاک وابسته می‌باشد.

NPP، افزایش مجموع زیست‌توده گیاهی و تلفات آن (نظیر خشک شدن، ریزش برگ‌ها و مرگ گیاه، گیاهخواری و ...) و به‌عبارت دیگر، مجموع زیست‌توده اندام‌های هوایی و زیرزمینی به ازای واحد سطح زمین در واحد زمان می‌باشد. میزان تولید خالص اولیه سالانه در بوم‌نظام‌های کشاورزی و توزیع کربن در اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه معمولاً از طریق عملکرد محاسبه می‌شود (۳، ۸ و ۱۷). اهداف این مطالعه برآورد ضرایب تولید خالص اولیه اندام‌های زیرزمینی و هوایی، تولید خالص اولیه کل، ضرایب نسبی تسهیم کربن، میزان کربن تسهیم یافته و کل کربن اضافه شده به خاک برای محصولات مهم استان خراسان رضوی بود.

مواد و روش‌ها: زیست‌توده اندام‌های هوایی و زیرزمینی محصولات عمده در استان خراسان رضوی شامل گندم، جو، ذرت، پنبه، چغندر قند، یونجه و نخود در مرحله رسیدگی در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ اندازه‌گیری شد. این گونه‌های گیاهی در تمام مزارع مورد مطالعه بر اساس توصیه کودی بر مبنای عرف کوددهی شدند. تعداد نمونه‌های برداشت شده از زیست‌توده اندام‌های هوایی و زیرزمینی برای هر گیاه زراعی از ۱۰ مزرعه چهار نمونه بود (که به‌طور میانگین نشان‌دهنده کل بوته‌های مزرعه بود). ریشه‌ها (زیست‌توده اندام‌های زیرزمینی) با استفاده از سیلندرهای به‌طور دستی از خاک جدا شدند. اندام‌های هوایی و ریشه‌ها پس از برداشت، برای رسیدن به وزن ثابت خشک شدند و وزن خشک آن‌ها تعیین شد. محتوی کربن گیاه در چهار بخش شامل اندام‌های هوایی (C_S)، دانه (C_P)، ریشه (C_R) و تراوه‌های ریشه‌ای (C_E) به ازای واحد زیست‌توده گیاهی در واحد سطح و زمان (گرم کربن در مترمربع در سال) با کمک معادلات مربوطه محاسبه شد.

نتایج: نتایج نشان داد که ضرایب نسبی تسهیم کربن به اندام‌های مختلف، تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی و زیرزمینی و تولید خالص اولیه کل به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع گونه گیاهی قرار گرفت. بیشترین میزان کربن

*مسئول مکاتبه: khorrandel@um.ac.ir

تسهیم یافته به اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی شامل بذر (Cp)، اندام‌های هوایی (Cs)، ریشه (CR) و ترشحات و بقایای ریشه‌ای در خاک (CE) به ترتیب برای جو (۴۴۵۲/۷۸ گرم کربن بر مترمربع در سال زراعی)، یونجه (۸۶۰۲/۵۶ گرم کربن بر مترمربع در سال زراعی)، یونجه (۲۹۲۹/۳۹ گرم کربن بر مترمربع در سال زراعی) و یونجه (۱۹۰۴/۱۱ گرم کربن بر مترمربع در سال زراعی) به دست آمد. بیشترین تولید خالص اندام‌های هوایی و زیرزمینی به ترتیب برای جو و یونجه با ۱۲۶۲۶/۲۸ و ۴۸۳۳/۵ گرم کربن بر مترمربع در سال زراعی به دست آمد.

نتیجه‌گیری: یکی از فاکتورهای مهم برای ارزیابی تغییرات کربن خاک در بوم‌نظام‌های کشاورزی محاسبه ضرایب تسهیم نسبی کربن به اندام‌های مختلف می‌باشد. در حقیقت، کربن و تولید خالص اولیه مهمترین متغیرها برای پیش‌بینی سرعت خالص تغییرات کربن در خاک هستند.

واژه‌های کلیدی: تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی، تولید خالص اولیه اندام‌های زیرزمینی، تسهیم کربن، گونه گیاهی

مقدمه

اگرچه گازهای گلخانه‌ای انواع مختلفی دارند، ولی دی اکسید کربن مؤثرترین گاز گلخانه‌ای می‌باشد (۱۰).

بررسی‌ها نشان داده است که تغییرات ایجاد شده در اقلیم به‌طور مستقیم از طریق تغییر در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی محیط و به‌طور غیرمستقیم با تغییر رشد گیاه و ترکیب جوامع زیستی بر تنوع زیستی^۴ خاک و به تبع آن پوشش گیاهی بالای سطح خاک، تأثیر داشته و در مجموع، باعث بروز تغییراتی در کارکردها و فرآیندهای بوم‌شناختی بوم‌نظام می‌شود (۱۱). از طرف دیگر، از آنجا که کشاورزی بخش بزرگی را به خود اختصاص داده (۲ و ۱۹)، بنابراین، بوم‌نظام‌های کشاورزی و فعالیت‌های به‌کارگرفته شده، تولیدکننده و منتشرکننده بخش زیادی از انواع مختلفی از گازهای گلخانه‌ای به جو می‌باشند (۲۵). اوسبورن و همکاران (۲۰۱۰) بیان داشتند حداقل ۲۵ درصد از فعالیت‌های کشاورزی باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای به جو می‌گردد که با افزایش سطح اراضی زیر کشت و فشردگی روش‌های مدیریتی رو به افزایش است (۲۲).

در حال حاضر، گرمایش جهانی به‌دلیل افزایش

طی قرن گذشته به‌دلیل گسترش فعالیت‌های صنعتی، ترکیب شیمیایی جو تغییر کرده که این امر بروز تغییرات بی‌سابقه‌ای را در اقلیم جهانی به دنبال داشته است. تغییر در ترکیب شیمیایی جو ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای^۱ می‌باشد و حضور این گازها در جو باعث تشدید اثرات گلخانه‌ای^۲ خواهد شد (۲۵). نتایج بررسی‌ها نشان داده که غلظت دی‌اکسید کربن در سال ۱۷۵۰ میلادی حدود ۲۷۰ پی‌پی‌ام (قسمت در میلیون) بوده و در سال ۲۰۱۷ میلادی به ۴۰۷/۰۱ پی‌پی‌ام افزایش یافته که منجر به افزایش دمای کره زمین شده است (۱۴). پیش‌بینی‌ها بیانگر این است که تا سال ۲۰۵۰ غلظت CO₂ به حدود ۵۵۰ پی‌پی‌ام خواهد رسید که همراه با این تغییر میزان CO₂ درجه حرارت نیز افزایش می‌یابد (۲۰). علاوه بر این، افزایش درجه حرارت تحت تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن که در نیمه دوم قرن بیستم بارزتر از هر زمان دیگری بوده است، پیامدهای اقلیمی مختلفی را به همراه داشته و عامل اصلی بروز پدیده تغییر اقلیم^۳ محسوب می‌شود (۱، ۲۳ و ۲۶).

- 1- Greenhouse gases (GHGs)
- 2- Greenhouse effect
- 3- Climate change

4- Biodiversity (BD)

گیاهان از یک طرف نشان‌دهنده تولید زیست‌توده گیاه و از طرف دیگر برآوردی از میزان دی اکسید کربن جذب شده از جو می‌باشد. بنابراین، به‌نظر می‌رسد انتخاب گونه‌های گیاهی که تولید زیست‌توده بالاتری داشته باشند، می‌تواند به‌عنوان راهکاری پایدار برای کاهش غلظت دی اکسید کربن در آینده مدنظر قرار گیرند. علاوه بر این، با محاسبه میزان تولید خالص اولیه و برآورد ضرایب نسبی تسهیم کربن به اندام‌های مختلف گونه‌های مهم گیاهی، می‌توان سهم هر یک از اندام‌های گیاهی را از میزان دی اکسید کربن جذب شده برآورد و تعیین کرد. بنابراین، اهداف از این مطالعه برآورد ضرایب تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی و زیرزمینی، ضرایب نسبی تسهیم کربن، میزان کربن تسهیم یافته و تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی و زیرزمینی محصولات عمده استان خراسان رضوی در گروه‌های مهم گیاهان زراعی شامل غلات، علوفه‌ای، لیفی، حبوبات، ریشه‌ای و قندی بود.

مواد و روش‌ها

داده‌های عملکرد اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان زراعی مهم استان خراسان رضوی شامل گندم (*Triticum aestivum*)، جو (*Hordeum vulgare*)، ذرت دانه‌ای (*Zea mays*)، پنبه (*Gossypium hirsutum* L.)، چغندر قند (*Beta vulgaris*)، یونجه (*Medicago sativa*) و نخود (*Cicer arietinum*) از طریق نمونه‌برداری به صورت سیستماتیک در چهار تکرار از سطح ۱۰ مزرعه با حداقل مساحت یک هکتار (جهت افزایش در استان خراسان رضوی (که به‌طور میانگین نشان‌دهنده کل بوته‌های مزرعه بود) جمع‌آوری شد (حداقل ۲۵ نمونه از سطح یک مترمربع به‌ازای هر مزرعه). این گونه‌های گیاهی در تمام مزارع مورد مطالعه بر اساس توصیه کودی بر مبنای عرف کوددهی شدند. ریشه‌ها (زیست‌توده اندام‌های زیرزمینی) با

غلظت دی اکسید کربن و دیگر گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی مطرح می‌باشد (۴). از طرف دیگر، کشاورزی با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق مدیریت زراعی و ترسیب کربن، می‌تواند نقش مؤثری در کاهش اثرات تغییر اقلیم داشته باشد (۱۸ و ۱۶). برخی از روش‌های مدیریتی برای کاهش انتشار کربن و تلفات آن عبارتند از کاهش شدت خاکورزی، افزایش دوره‌های آیش و تناوب زراعی و همچنین کاشت گیاهان پوششی و محصولات زراعی زمستانه (۶).

همچنین از آنجا که نوع مدیریت نظام زراعی تأثیر به‌سزایی بر میزان تولید گیاهان دارد (۱۷)، به‌نظر می‌رسد که توجه به میزان تولید خالص اولیه گیاهان به‌عنوان برآوردی از میزان دی اکسید کربن جذب شده به‌وسیله گیاهان امری ضروری باشد. به‌عبارت دیگر، تعیین تولید خالص اولیه گیاهان در نظام‌های مختلف زراعی می‌تواند به‌عنوان راهکاری پایدار برای کاهش غلظت دی اکسید کربن جو مد نظر قرار گیرد (۱۷).

تولید خالص اولیه مجموع کربن تثبیت شده در اندام‌های مختلف هوایی^۱ (ANPP) و زیرزمینی^۲ (BNPP) گیاه می‌باشد که برگردانیدن آن به خاک می‌تواند باعث کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن شود (۸ و ۱۷).

دویکر و لال (۲۰۰۰) بیان نمودند هر عامل مدیریتی که مؤثر بر رشد و نمو گیاه باشد، به‌طور معنی‌داری تولید خالص گیاه را که نشان‌دهنده کربن جذب شده است، تحت تأثیر قرار می‌دهد (۵).

بدین ترتیب، تعیین میزان تولید خالص اولیه

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

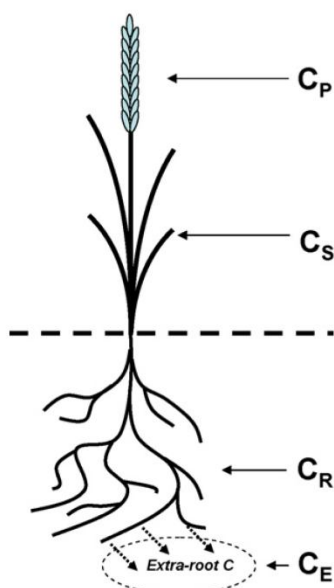
معادله (۳)
 $C_R = (S:R \times HI) \times 0.45$
 معادله (۴)
 $C_E = C_R \times 0.65$
 که در این معادلات، C_S : کربن موجود در کاه و کلش،
 C_P : کربن موجود در اندام اقتصادی، C_R : کربن
 موجود در ریشه، C_E : کربن شامل ترشحات، تراوه‌ها
 و بقایای ریشه‌ای در خاک، $S:R$: نسبت اندام هوایی
 به زیرزمینی و HI : شاخص برداشت می‌باشد که مقدار
 این کربن بر اساس منابع مختلف (۳ و ۹) حدود ۶۵
 درصد کربن موجود در ریشه در نظر گرفته شد.

استفاده از سیلندرهایی به‌طور دستی از خاک جدا شدند
 (۲۹ و ۲۴). اندام‌های هوایی و ریشه‌ها برای رسیدن به
 وزن ثابت خشک شدند و وزن خشک آن‌ها تعیین شد.
 از آنجا که در هر گرم ماده خشک حدود ۰/۴۵
 گرم کربن (۴۵ درصد) موجود می‌باشد (۳)، برای
 محاسبه میزان کربن موجود در بخش‌های مختلف گیاه
 (اندام اقتصادی، کاه و کلش و ریشه) (شکل ۱)، از
 معادله‌های (۱) تا (۴) استفاده شد (۳):

$$C_P = 0.45 \times \text{عملکرد اندام اقتصادی} \quad (۱)$$

$$\text{معادله (۲)}$$

$$C_S = (1-HI) / HI \times 0.45 \times \text{عملکرد اندام اقتصادی}$$



شکل ۱- کربن تسهیم یافته به اندام‌های هوایی (C_P : دانه و C_S : اندام‌های هوایی) و زیرزمینی (C_R : ریشه و C_E : تراوه‌های ریشه‌ای)

Figure 1. Allocated carbon to above-ground (C_P : seed and C_S : shoots) and below-ground (C_R : root and C_E : extra-roots) tissues.

هوایی (شامل C_S و C_P) و زیرزمینی (شامل C_R و C_E) برآورد شد (۳). سپس تولید خالص اولیه بر اساس میزان کربن تسهیم یافته (NPP_c) با استفاده از معادله (۵) محاسبه شد:

$$NPP_c = C_P + C_S + C_R + C_E \quad (۵)$$

تولید خالص اولیه بر اساس کربن برای اندام هوایی ($ANPP_c$)^۱ و زیرزمینی ($BNPP_c$)^۲ نیز به ترتیب از مجموع کربن اختصاص یافته به اندام‌های

- 1- Above-ground net primary production ($ANPP_c$)
- 2- Below-ground net primary production ($BNPP_c$)

$$R_P + R_S + R_R + R_E = 1 \quad \text{معادله (۱۰)}$$

برای گیاه یونجه، مجموع چین‌های برداشت شده در کل طول فصل رشد به عنوان اندام هوایی مد نظر قرار گرفت (۲۰). برای گیاهان یک‌ساله زیست‌توده گیاه در مرحله رسیدگی لحاظ گردید (۲۰).

تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین‌ها (بر مبنای آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)) توسط SAS 9.1 و رسم نمودارها با استفاده از Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس واریانس ضرایب نسبی تسهیم کربن به اندام‌های مختلف گونه‌های مهم گیاهی استان خراسان رضوی در جدول ۱ نشان داده شده است.

همچنین سهم نسبی هر یک از اندام‌های گیاهی از تولید خالص کربن با استفاده از معادلات (۶) تا (۹) محاسبه گردید (۳).

$$R_P = C_P / NPP_c \quad \text{معادله (۶)}$$

$$R_S = C_S / NPP_c \quad \text{معادله (۷)}$$

$$R_R = C_R / NPP_c \quad \text{معادله (۸)}$$

$$R_E = 1 - (R_P + R_S + R_R) \quad \text{معادله (۹)}$$

که در این معادلات، NPP_c : تولید خالص اولیه بر اساس کربن در کل گیاه و R_P ، R_S ، R_R و R_E : به‌ترتیب 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 می‌ماند، در نظر گرفته شد (۲۱). ضمناً در ضرایب فوق معادله (۱۰) نیز باید صادق باشد (۳):

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ضرایب نسبی تسهیم کربن به اندام‌های مختلف گونه‌های گیاهی.

Table 1. Analysis of variance (mean of squares) for relative coefficients of carbon allocation to different tissues of crop species.

منابع تغییر	درجه آزادی	بذر (R_P)	اندام‌های هوایی (R_S)	ریشه (R_R)	تراوه‌های ریشه (R_E)
S.O.V.	df	Seed (R_P)	Shoots (R_S)	Root (R_R)	Extra-root (R_E)
گونه گیاهی	6	0.08**	0.07**	0.07**	0.03**
Crop species					
خطا	21	0.0001	0.001	0.001	0.0001
Error					
کل	27	-	-	-	-
Total					
ضریب تغییرات (درصد)		9.31	7.05	14.94	14.90
CV (%)					

** : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

** : Significant at 1% probability level

ترشحات و بقایای ریشه‌ای در خاک (R_E) به‌ترتیب برای گندم (۰/۳۱۸)، یونجه (۰/۶۲۵)، چغندر قند (۰/۴۴۷) و چغندر قند (۰/۲۹) به‌دست آمد. کمترین مقادیر این صفات نیز به‌ترتیب برای پنبه (۰/۲۴)، چغندر قند (۰/۲۶۳)، ذرت (۰/۰۷۵) و ذرت (۰/۰۴۸)

اثر گونه گیاهی بر ضرایب نسبی تسهیم کربن به اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی معنی‌دار ($p \leq 0/01$) بود (جدول ۱). به طوری‌که بالاترین ضرایب نسبی تسهیم کربن به اندام‌های مختلف شامل بذر (R_P)، اندام‌های هوایی (R_S)، ریشه (R_R) و

نصیری محلاتی و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی چرخه دراز مدت کربن و میزان ترسیب آن در نظام‌های کشاورزی ایران بیان داشتند که برنج و ذرت در مقایسه با سایر گیاهان مورد مطالعه کمترین ضرایب نسبی کربن را به خود اختصاص دادند (۲۱). بالاترین میزان تسهیم کربن در اندام‌های هوایی نیز در یونجه مشاهده شد (جدول ۲). در این راستا نصیری محلاتی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش دادند که بیشترین کربن اختصاص یافته به اندام‌های هوایی در بین گیاهان مورد مطالعه، برای یونجه مشاهده شد که دلیل این امر را به علوفه‌ای بودن این گیاه مربوط دانستند (۲۱). بنا به گزارش فروزه و همکاران (۲۰۰۹)، رابطه مستقیمی بین میزان تسهیم کربن و نوع گونه گیاهی وجود دارد؛ به طوری که معمولاً هر چه نسبت بافت‌های چوبی در گیاه بیشتر باشد، توان جذب کربن افزایش می‌یابد (۷). کمترین میزان تسهیم کربن در بذر در مقایسه گیاهان دارای بذر برای پنبه مشاهده شد (جدول ۲). به نظر می‌رسد دلیل این امر روغنی بودن دانه‌های این گیاه است، زیرا از ضریب تبدیل پایینی برخوردار است (۲۱). میزان کربن اختصاص یافته به بذر در گیاه گندم و جو به نسبت سایر بخش‌های گیاه بالاتر بود (جدول ۲) که به‌نظر می‌رسد کاهش ضریب تبدیل در اندام‌های هوایی مربوط به بالاتر بودن مواد معدنی در آن‌ها می‌باشد، همچنین علت بالا بودن ضریب تبدیل در بذر به احتمال زیاد تحت تأثیر میزان کم آب در این اندام است. در این راستا در پژوهشی جعفریان و طایفه سید علیخوانی (۲۰۱۲) با بررسی پتانسیل ترسیب کربن در اراضی گندم دیم منطقه کیاسر اظهار داشتند که خوشه بیشترین و ریشه کمترین توان ذخیره کربن را دارا هستند (۱۲). همچنین بیان کردند که در مقایسه بین اندام‌های هوایی نیز کمترین میزان ترسیب کربن مربوط به برگ‌ها و بیشترین مقدار آن در سنبله بود. بولیندر و همکاران (۲۰۰۷) و گیل و همکاران

حاصل شد (جدول ۲). البته با توجه به این‌که هدف از کاشت دو گیاه چغندر قند و یونجه، برداشت اندام‌های رویشی بود، لذا ضرایب نسبی تسهیم کربن به بذر این‌گونه‌ها برابر صفر محاسبه گردید. میزان کاهش ضریب نسبی تسهیم کربن به بذر برای نخود، جو و ذرت در مقایسه با گندم به‌ترتیب برابر با ۸، ۵ و ۱۲ درصد و برای ضریب اندام‌های هوایی در گونه‌های گیاهی نخود، جو، گندم، پنبه و ذرت در مقایسه با یونجه به‌ترتیب برابر با ۱۰، ۱۳، ۳۷، ۲ و ۴ درصد حاصل شد. میزان این کاهش برای ضریب نسبی تسهیم کربن به ریشه برای گونه‌های گیاهی نخود، جو، گندم، پنبه و یونجه در مقایسه با چغندر قند به ترتیب برابر با ۸۱، ۷۹، ۵۸، ۸۱ و ۴۹ درصد و برای ضرایب نسبی تسهیم کربن به ترشحات و بقایای ریشه‌ای در خاک این گونه‌های گیاهی به‌ترتیب ۷۰، ۸۰، ۶۰، ۸۱ و ۴۹ درصد تعیین گردید (جدول ۲).

بیشترین ضریب نسبی تسهیم کربن مربوط به ریشه و تراوه‌های ریشه در چغندر قند مشاهده شد (جدول ۲) که به‌نظر می‌رسد این امر به‌دلیل نسبت بالای اندام زیرزمینی به اندام هوایی باشد. کمترین میزان تسهیم کربن در تراوه‌های ریشه‌ای نیز در ذرت مشاهده شد (جدول ۲). بولیندر و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که ضریب نسبی تسهیم کربن به ترشحات ریشه در گیاه ذرت پایین بود (۳). آن‌ها دلیل این امر به ساختار فیزیولوژیکی این گیاه نسبت دادند. به‌نظر می‌رسد که علت این امر مربوط به پایین‌تر بودن سهم اندام‌های زیرزمینی گیاه ذرت به نسبت سایر گیاهان می‌باشد که در نتیجه باعث کاهش سهم تراوه‌های ریشه‌ای شده است. بالاتر بودن سهم تراوه‌های ریشه‌های برای سایر گیاهان شامل چغندر قند (به دلیل قندی بودن ساختار اندام زیرزمینی) و نخود و یونجه (به‌دلیل توانایی تثبیت نیتروژن) مربوط به ساختار و ویژگی‌های آنها می‌باشد.

(۲۰۰۲) نیز نشان دادند که میزان ترسیب کربن در زیست‌توده هوایی بیشتر از زیست‌توده اندام‌های زیرزمینی بود. همان‌گونه که در جدول (۳) ملاحظه می‌شود، اثر گونه گیاهی بر میزان کربن تسهیم یافته به اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی گونه‌های گیاهی معنی‌دار بود. ($p \leq 0.01$)

جدول ۲- مقایسه میانگین ضرایب نسبی تسهیم کربن به اندام‌های مختلف گونه‌های گیاهی.

Table 2. Mean comparisons for relative coefficients of carbon allocation to different tissues of crop species.

گونه گیاهی Plant species	بذر (R _P) Seed (R _P)	اندام‌های هوایی (R _S) Shoots (R _S)	ریشه (R _R) Root (R _R)	تراوه‌های ریشه (R _E) Extra-root (R _E)
نخود Chickpea	0.29 ^{bc}	0.56 ^{bc}	0.08 ^d	0.05 ^d
جو Barley	0.30 ^b	0.54 ^c	0.09 ^d	0.05 ^d
گندم Wheat	0.31 ^a	0.39 ^d	0.17 ^c	0.11 ^c
چغندر قند Sugar beet	0.00 ^e	0.26 ^e	0.44 ^a	0.29 ^a
پنبه Cotton	0.24 ^d	0.61 ^a	0.08 ^d	0.05 ^d
ذرت Corn	0.28 ^c	0.59 ^{ab}	0.07 ^d	0.04 ^d
یونجه Alfalfa	0.00 ^e	0.62 ^a	0.22 ^b	0.14 ^b
LSD value	0.147	0.047	0.047	0.015

میانگین‌های دارای حروف مختلف بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری دارند ($p \leq 0.05$).

Means with different letter (S) have significant difference based on LSD test ($p \leq 0.05$).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) میزان کربن تسهیم یافته به اندام‌های مختلف گونه‌های گیاهی.

Table 3. Analysis of variance (mean of squares) for allocated carbon content to different tissues of crop species.

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	بذر (C _P) Seed (C _P)	اندام‌های هوایی (C _S) Shoots (C _S)	ریشه (C _R) Root (C _R)	تراوه‌های ریشه (C _E) Extra-root (C _E)
گونه گیاهی Crop species	6	11992601.10**	47720400.66*	3976090.06**	1679898.24**
خطا Error	21	1672302.92	13456343.82	608253.02	256986.87
کل Total	27	-	-	-	-
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		91.43	95.82	70.31	74.12

** : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

** : Significant at 1% probability level.

هوایی (C_S)، ریشه (C_R) و ترشحات و بقایای ریشه‌ای در خاک (C_E) به ترتیب به جو (۴۴۵۲/۷۸) گرم کربن

بیشترین میزان کربن تسهیم یافته به اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی شامل بذر (C_P)، اندام‌های

صفر محاسبه گردید. میزان کاهش کربن تسهیم یافته به بذر برای گندم، پنبه و ذرت در مقایسه با جو به ترتیب برابر با ۳۴، ۶۰ و ۹۰ درصد حاصل گردید. میزان کاهش کربن تسهیم یافته به اندام‌های هوایی برای گونه‌های جو، گندم، چغندر قند، پنبه و ذرت در مقایسه با یونجه به ترتیب برابر با ۵، ۵۷، ۹۳، ۵۱ و ۸۹ درصد بدست آمد. میزان کاهش کربن تسهیم یافته به هر دو اندام زیرزمینی ریشه و ترشحات و بقایای ریشه‌ای در خاک برای این گونه‌ها به ترتیب ۵۳، ۴۳، ۶۹، ۷۸ و ۹۶ درصد حاصل گردید (جدول ۴).

بر مترمربع در سال زراعی)، یونجه (۸۶۰۲/۵۶ گرم کربن بر مترمربع در سال زراعی)، یونجه (۲۹۲۹/۳۹ گرم کربن بر مترمربع در سال زراعی) و یونجه (۱۹۰۴/۱۱ گرم کربن بر مترمربع در سال زراعی) اختصاص داشت و کمترین مقادیر آن نیز برای نخود به ترتیب برابر با ۲۷۹/۱، ۵۴۵/۶۳، ۹۷/۴۶ و ۶۳/۳۵ گرم کربن بر مترمربع در سال زراعی حاصل گردید (جدول ۴). علاوه بر آن، با در نظر گرفتن هدف برداشت اندام‌های رویشی دو گیاه چغندر قند و یونجه، ضرایب نسبی تسهیم کربن به بذر این گونه‌ها برابر

جدول ۴- مقایسه میانگین میزان کربن تسهیم یافته (گرم کربن بر مترمربع در سال زراعی) به اندام‌های مختلف گونه‌های گیاهی.

Table 4. Mean comparisons for allocated carbon content (g Carbon m⁻² yr) to different tissues of crop species.

گونه گیاهی Plant species	بذر (C _P) Seed (C _P)	اندام‌های هوایی (C _S) Shoots (C _S)	ریشه (C _R) Root (C _R)	تراوه‌های ریشه (C _E) Extra-root (C _E)
نخود Chickpea	279.10 ^c	545.63 ^b	97.46 ^c	63.35 ^c
جو Barley	4452.78 ^a	8173.51 ^a	1387.03 ^b	901.57 ^b
گندم Wheat	2959.74 ^{ab}	3741.93 ^{ab}	1674.90 ^b	1088.69 ^b
چغندر قند Sugar beet	0.00 ^c	567.36 ^b	902.65 ^{bc}	586.72 ^{bc}
پنبه Cotton	1770.93 ^{bc}	4224.60 ^{ab}	653.34 ^{bc}	424.67 ^{bc}
ذرت Corn	438.68 ^c	941.78 ^b	119.389 ^c	77.60 ^c
یونجه Alfalfa	0.00 ^c	8602.56 ^{a*}	2929.39 ^a	1904.11 ^a
LSD value	1902.0	5394.0	1147	745.5

میانگین‌های دارای حروف مختلف بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری دارند (p≤۰/۰۵).

Means with different letter (S) have significant difference based on LSD test (p≤0.05).

پایه مصرف کمپوست (به ترتیب با ۱۵۹/۰ و ۳۰۲/۹ گرم کربن بر مترمربع در فصل زراعی) اختصاص داشت. آنها همچنین اظهار داشتند که بهره‌گیری از اصول کم‌نهاد بر مبنای مصرف کود دامی و کاهش استفاده از عملیات خاک‌ورزی به دلیل بهبود ویژگی‌های فیزیکی و بیولوژیکی خاک برای رشد ریشه، باعث افزایش میزان کربن تسهیم یافته به این

خرم‌دل و همکاران (۲۰۱۱) با ارزیابی اثر نوع مدیریت نظام زراعی بر میزان کربن تسهیم یافته به اندام‌های هوایی و زیرزمینی و تولید خالص این اندام‌ها گزارش نمودند که بالاترین میزان کربن تسهیم یافته به دانه و اندام‌های هوایی مربوط به نظام پرنهاد (به ترتیب با ۲۶۰/۵ و ۵۷۸/۶ گرم کربن بر مترمربع در فصل زراعی) بود و کمترین میزان به نظام کم‌نهاد بر

ماده آلی خاک افزایش یافته که منجر به جذب بیشتر و تحریک فعالیت میکروارگانیسم‌های خاکری شده لذا بهبود شرایط بیولوژیکی خاک را در پی خواهد داشت. نتایج آنالیز واریانس اثر نوع گونه گیاهی بر میزان تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی و زیرزمینی و کل در جدول ۵ نشان داده شده است.

اندام شد، به طوری که بیشترین میزان کربن تسهیم یافته به ریشه در نظام‌های زراعی کم‌نهاده با مصرف کود دامی و پرنهاده به ترتیب با ۱۳/۸۶ و ۵۱/۹ گرم کربن بر مترمربع در فصل زراعی به‌دست آمد (۱۳). در نظام‌های کشاورزی کم‌نهاده به واسطه عملیاتی مثل کاهش عملیات خاک‌ورزی و مصرف کود دامی، میزان

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر گونه گیاهی بر تولید خالص اندام‌های هوایی و زیرزمینی

Table 5. Analysis of variance (mean of squares) for the effect of crop species on net primary production of above-ground and below-ground tissues.

منابع تغییر	درجه آزادی	اندام‌های هوایی	اندام‌های زیرزمینی	کل
S.O.V.	df	Above-ground tissues	Below-ground tissues	Total
گونه گیاهی	6	83196990.39*	10824916.24**	133418449.20*
Crop species				
خطا	21	22899755.83	1655968.42	35610256.41
Error				
کل	27	-	-	-
Total				
ضریب تغییرات (درصد)		91.28	70.31	84.37
CV (%)				

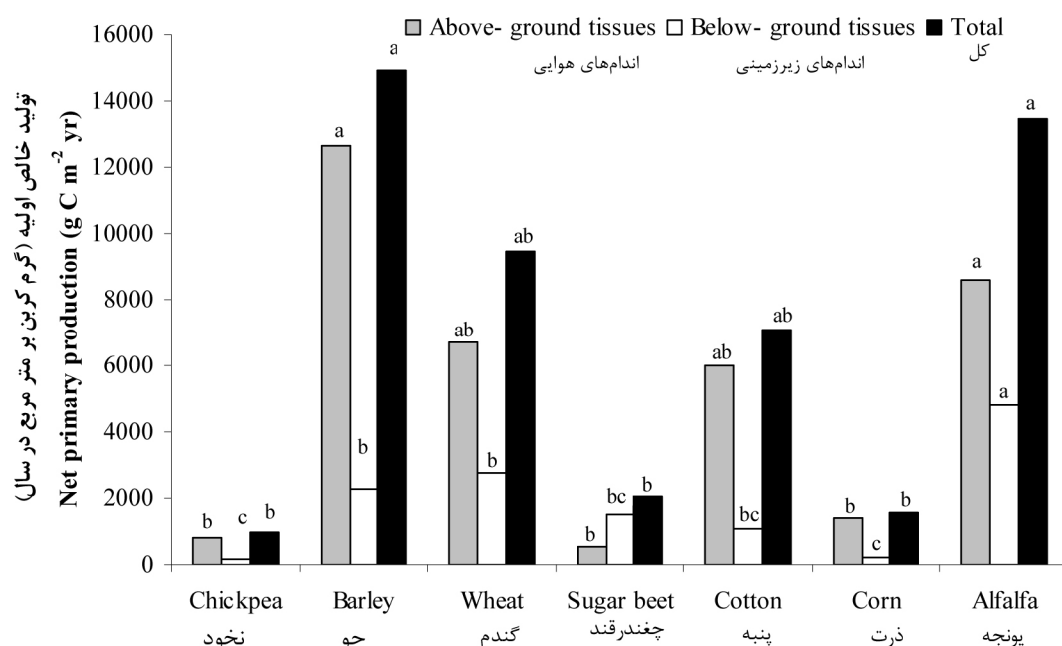
** : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

* : Significant at 1% probability level

چغندر قند و نخود با ۵۶۷/۳۶ و ۱۶۰/۸ گرم کربن بر مترمربع در سال زراعی اختصاص داشت (۲). تولید خالص اولیه بالاتر باعث افزوده شدن هرچه بیشتر بقایای گیاهی به خاک خواهد شد به طوری که حفظ و اضافه کردن بقایای این گیاهان به خاک می‌تواند علاوه بر تأثیر مثبت بر بهبود ویژگی‌های خاک با حفظ کربن در خاک مانع انتشار آن به جو شده که در نتیجه برای کاهش تولید دی اکسید کربن و پیامدهای ناشی از آن همچون گرمایش جهانی و تغییر اقلیم مؤثر می‌باشد. میزان کاهش تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی گونه‌های مورد مطالعه شامل نخود، گندم، پنبه، ذرت و یونجه در مقایسه با جو به ترتیب برابر با ۹۳، ۴۷، ۵۳، ۸۹ و ۳۲ درصد محاسبه شد. کاهش تولید خالص اولیه اندام‌های زیرزمینی جو، گندم، چغندر قند، پنبه و ذرت در مقایسه با یونجه به ترتیب برابر با ۵۳، ۴۳، ۶۹، ۷۸ و ۹۶ درصد به‌دست آمد (شکل ۲).

تولید خالص اولیه نشان‌دهنده میزان کربن خالص جذب شده در فرآیند فتوسنتز از جو می‌باشد (۳). بر این اساس، در صورتی که از کل کربن جذب شده در فرآیند فتوسنتز که تولید ناخالص اولیه نامیده می‌شود، تنفس گیاه کسر شود، تولید خالص اولیه به‌دست می‌آید (۲۹). محاسبه تولید خالص اولیه قابلیت ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی، عملیات زراعی و محصولات مختلف زراعی و تغییرات اقلیمی آینده بر بودجه کربن بوم‌نظام را امکان‌پذیر می‌سازد (۲۹).

اثر گونه‌های مختلف گیاهی بر میزان تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی و زیرزمینی معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود (جدول ۶). بیشترین تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی و زیرزمینی در مقایسه بین گونه‌های مهم گیاهی استان خراسان رضوی به ترتیب برای جو و یونجه با ۱۲۶۲۶/۲۸ و ۴۸۳۳/۵ گرم کربن بر مترمربع در سال زراعی به‌دست آمد. کمترین مقادیر این صفات در مقایسه بین گونه‌های گیاهی به ترتیب به



شکل ۲- مقایسه میانگین تولید خالص اندام‌های هوایی و زیرزمینی گونه‌های مختلف گیاهی.

Figure 2. Mean comparisons for net primary production of above-ground and below-ground tissues for different crop species.

میانگین‌های دارای حروف مختلف برای هر جزء، بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری دارند ($p \leq 0.05$).

Means with different letter (s) for each component have significant difference based on LSD test ($p \leq 0.05$).

یونجه مشاهده شد (۲۱). آن‌ها همچنین اظهار داشتند که کشت یونجه در مناطق خزری بیشترین کارایی جذب و ترسیب کربن را در مقایسه با سایر مناطق مختلف کشور و گیاهان مورد بررسی دارا می‌باشد که دلیل این امر را عملکرد بالای یونجه در منطقه خزری و همچنین پایین بودن نسبت S/R در گیاه یونجه در مقایسه با سایر گیاهان بیان کردند.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج نشان داد که سهم نسبی کربن در اندام‌های مختلف گیاهی از کل کربن موجود در گیاه، در بین گیاهان زراعی مورد بررسی شامل غلات، حبوبات، لیفی، ریشه‌ای، قندی و علوفه‌ای به‌طور معنی‌داری متفاوت بود. به طوری‌که جو نسبت به دیگر گیاهان مورد بررسی تولید خالص اولیه بیشتری داشت و کربن بیشتری را به اندام‌های هوایی خود

گونه‌های مختلف گیاهی به‌طور معنی‌داری میزان تولید خالص اولیه کل اندام‌های هوایی و زیرزمینی را تحت تأثیر قرار داد ($p \leq 0.05$) (جدول ۵). بیشترین و کمترین تولید خالص اولیه کل (مجموع تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی و زیرزمینی) در مقایسه بین گونه‌های مختلف گیاهی به ترتیب برای جو و نخود با $14914/87$ و $985/53$ گرم کربن بر مترمربع در سال زراعی به‌دست آمد. کاهش تولید خالص کل گونه‌های گیاهی گندم، چغندر قند، پنبه، ذرت و یونجه در مقایسه با جو به‌ترتیب برابر با 37 ، 86 ، 53 ، 89 و 10 درصد بود (شکل ۲). نتایج سایر مطالعات نیز نشان داده است که یونجه با $13436/06$ گرم کربن در مترمربع از بالاترین میزان تولید خالص اولیه برخوردار بود (۲). در پژوهشی نصیری و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که بیشترین کربن ورودی در بین محصولات مختلف در مناطق مختلف آب و هوایی کشور برای

در یونجه مشاهده شد که دلیل این امر را می‌توان پایین بودن نسبت S/R بیان کرد. این موضوع اهمیت وارد کردن گیاه علوفه‌ای یونجه را در تناوب زراعی مزارع استان خراسان برای بهبود ترسیب کربن در خاک‌های ایران مناطق و خشک نیمه‌خشک نشان می‌دهد.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل پژوهش طرح شماره ۳۹۴۵۴ مصوب ۱۳۹۴/۱۰/۲۸ معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

اختصاص داد. پس از این گیاه، یونجه و گندم از میزان تولید خالص اولیه بالایی برخوردار بودند که این موضوع می‌تواند اهمیت کاشت این قبیل گیاهان و انتخاب آنها را در تناوب‌های زراعی و الگوهای کشت منطقه به جهت بهبود پتانسیل ترسیب کربن به ویژه در مناطق مورد مطالعه نشان دهد، به طوری که حفظ و اضافه کردن بقایای این گیاهان به خاک می‌تواند علاوه بر تأثیر مثبت بر ویژگی‌های خاک با حفظ کربن در خاک مانع انتشار آن به جو شده که در نتیجه برای کاهش تولید دی اکسید کربن و پیامدهای ناشی از آن همچون گرمایش جهانی و تغییر اقلیم موثر باشد. بیشترین میزان تسهیم کربن در اندام‌های زیرزمینی نیز

منابع

1. Antle, J.M. 1995. Climate Change and agriculture in developing countries. Am. J. Agric. Econ., 77: 741-46.
2. Betts, R.A., Falloon, P., Goldewijk, K.K., and Ramankutty, N. 2007. Biogeophysical effects of land use on climate: model simulations of radiative forcing and large-scale temperature change. Agr. Forest. Meteorol., 142: 216-233.
3. 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. Agric. Ecosyst. Environ., 118: 29-42.
4. 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. Eur. J. Soil Sci., 49: 701-707.
5. Duiker, S.W., and Lal, R. 2000. Carbon budget study using CO₂ flux measurement from a no till system in cereal Ohio. Soil Tillage Res., 54: 21-30.
6. Fabrizzi, K.P., Rice, C.W., Schlegel, A., Peterson, D., Sweeney, D.W., and Thompson, C. 2007. Soil carbon sequestration in Kansas: long-term effect of tillage, n fertilization, and crop rotation. Kansas State University. Pp: 1-44.
7. Froze, M.R., Heshmati, G.H.A., and Mesbah, S.H. 2009. Comparing carbon sequestration potential of three shrub species *Heliantemum lippii*, *Dendrostellera lessertii* and *Artemisia sieberi* (Case study: Gareh Bygone, Fasa). J. Environ. Stud., 46: 65-72. (In Persian with English Summary).
8. Gan, Y.T., Campbell, C.A., Janzen, H.H., Lemke, R.L., Basnyata, P., and Mc Donald, C.L. 2009. Carbon input to soil from oilseed and pulse crops on the Canadian prairies. Agric. Ecosyst. Environ., 132: 290-297.
9. 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. Glob. Ecol. Biogeogr., 11: 79-86.
10. Haugen-Kozyra, H., Juma, N.G., and Nyborg, M. 1993. Nitrogen partitioning and cycling in barley-soil systems under conventional and zero tillage in central Alberta. Can. J. Soil Sci., 73: 183-196.
11. Hu, S., and Zhang, W. 2004. Impact of Global Change on biological processes in soil implications for agroecosystem management. J. Crop Improv. 12: 289-314

12. Jafarian, Z., and Tayefeh Seyyed Alikhani, L. 2012. Carbon sequestration potential in dry farmed wheat in Kiasar Region. *Sustain. Agric. Prod. Sci.*, 23: 1.31-41. (In Persian with English Summary)
13. Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallti, M., and Khorasani, R. 2011. Effect of different crop management systems on net primary productivity and relative carbon allocation coefficients for corn (*Zea mays* L.). *J. Agroecol.*, 2: 4.667-680. (In Persian with English Summary)
14. Körner, C. 2003. Ecological impacts of atmospheric CO₂ enrichment on terrestrial ecosystems. *Philos. Trans. A Math Phys. Eng. Sci.*, 361: 2023–2041.
15. Kutsch, W.L., Aubinet, M., Buchmann, N., Smith, P., Osborne, B., Eugster, W., Wattenbach, M., Schruppf, 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. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 139: 336-345.
16. Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*. 123: 1-22.
17. Lambers, H., Chapin F.S., and Pones T.L. 2008. *Plant Physiological Ecology*. 2nd Edition Springer., 604p.
18. Metting, F.B., Smith, J.L., and Amthor, J.S. 1999. Science Needs and New Technology for Soil Carbon Sequestration. Rosenberg Publishing. Pp: 1-35..
19. Mc Conkey, B.G., Liang, B.C., Campbell, C.A., Curtin, D., Moulin, A., Brandt, S.A., and Lafond, G.P. 2003. Crop rotation and tillage impact on carbon sequestration in Canadian prairie soils. *Soil Till. Res.*, 74: 81–90.
20. Miri, H.R, and Rastegar, A. 2012. Effect of CO₂ enrichment on growth and competitiveness of soybean and millet against lambs quarters and pigweed. *EJCP* 5(1): 1-18. (In Persian with English Summary).
21. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Mansoori, H., and Moradi, R., Long term estimation of carbon dynamic and sequestration for Iranian agro-ecosystem: I- Net primary productivity and annual carbon input for common agricultural crops. *J. Agroecol.*, 6(4): 741-752. (In Persian with English Summary)
22. 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. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 139: 293-301.
23. Rosenzweig, C., and Parry, M.L. 1994. Potential impacts of climate change on world food supply. *Nature.*, 367: 133-138.
24. Rutherford, P.M., and Juma, N.G. 1989. Shoot, root, soil and microbial nitrogen dynamics in two contrasting soils cropped to barley (*Hordeum vulgare* L.). *Biol. Fert. Soil.*, 8: 134–143.
25. Salinger, J. 2007. Agriculture's influence on climate during the holocene. *Agric. Forest Meteorol.*, 142: 96–102
26. Saunders, M.A. 1998. Global warming: the view in 1998. Beneld Greig Hazard Research Centre Report, University College London.
27. Shimizu, M.M., Marutani, S., Desyatkin, A.R., Jin, T.J., Hata, H., and Hatano, R. 2009. The effect of manure application on carbon dynamics and budgets in a managed grassland of Southern Hokkaido, Japan. *Agric. Ecosyst Environ.*, 130: 31–40.
28. 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. *Agric. Ecosyst Environ.*, 139: 302-315.
29. 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. *Agric. Forest Meteorol.*, 149: 2143–2161.
30. Xu, J.G., and Juma, N.G. 1993. Above- and below-ground transformation of photosynthetically fixed carbon by two barley (*Hordeum vulgare* L) cultivars in a typical cryoboroll. *Soil Biol. Biochem.*, 25: 1263–127