

农牧交错带玉米农田生态系统碳储量变化特征及分布格局

刘 阳^{1,2}, 王铁军², 高 永¹, 党晓宏¹, 王 静¹, 陈雅楠², 贾晨光³

(1. 内蒙古农业大学生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010010; 2. 内蒙古自治区水利科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010020; 3. 呼和浩特市森林保护站, 内蒙古 呼和浩特 010011)

摘 要: 农田生态系统碳储量变化是陆地碳循环和全球气候变化研究中的一个重要问题。选取我国北方典型农牧交错区当地主要作物玉米为研究对象, 对该地区在传统深耕覆膜种植方式下不同时期(翻耕后、幼苗期、成熟期、次年翻耕前)的玉米农田生态系统碳储量及分布格局进行研究。结果表明: 在该地区传统耕作方式下玉米农田生态系统地上碳储量显著大于地下碳储量, 而土壤碳密度随着土层加深变化规律不明显; 单株玉米平均碳含率为 43.3%, 除根系外, 玉米叶片、茎秆有机碳含率变化规律表现为幼苗期 > 收获期; 单株玉米碳储量为收获期 > 幼苗期; 玉米农田生态系统土壤碳密度为收获期 > 幼苗期 > 次年翻耕前 > 翻耕后, 土壤碳密度在翻耕后较其他时期显著降低 ($P < 0.05$); 农田生态系统总碳密度与土壤碳密度变化规律一致。玉米农田生态系统经过一个完整的作物生长季后土壤碳密度在次年翻耕前较前一年翻耕后增加了 $13\,415\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; 而作物的碳密度在收获期高达 $10\,974.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。由此可见, 玉米农田生态系统对大气有明显的固碳减排作用, 其“碳汇”能力较强。

关键词: 农牧交错带; 玉米农田生态系统; 碳储量; 分布格局

中图分类号: S718.55 **文献标志码:** A

Characteristics and distribution pattern of carbon storage variation of the corn farmland ecosystem in the ecotone between agriculture and animal husbandry

LIU Yang^{1,2}, WANG Tie-jun², GAO Yong¹, DANG Xiao-hong¹,
WANG Jing¹, CHEN Ya-nan², JIA Chen-guang³

(1. Inner Mongolia Agriculture University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China;
2. Institute of Water Conservancy Science Inner Mongolia Municipality, Hohhot, Inner Mongolia 010020, China;
3. Hohhot Forestry Protection Station, Hohhot, Inner Mongolia 010011, China)

Abstract: Organic carbon storage and sequestration potential change in agricultural soils has been suggested to be an important issue in the study of terrestrial carbon cycling and global climatic change. To study the carbon storage and distribution pattern of corn farmland ecosystem at different stages (after plowing, seeding stage, maturity, before plowing in the next year) in the way of traditional deep-tillage operation and film-mulch planting, the local main crop, corn, was used to conduct the investigation in a typical ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China. The result showed that the aboveground carbon storage was obviously higher than the belowground one. The change of soil carbon density was not evidently associated with the depth of soil layer. The average carbon rate of single maize was 43.3%. Except for root, leaf and stalk had higher organic carbon rate at seedling stage than that at maturity stage. And the carbon storage of single maize at maturity was more than that at seedling stage. The soil carbon densities in the corn farmland ecosystem at different stages were in the following order: maturity > seeding stage > before plowing in the next

收稿日期: 2014-04-10
基金项目: 国家自然科学基金“沙区光伏发电厂与其环境的互馈机制(41461001)”；内蒙古自治区教育厅博士研究生科研创新科研项目(B20141012912)；国家科技支撑计划项目“适沙生态经济植物培育及其资源衍生产业开发技术”(2011BAC07B02-03)
作者简介: 刘 阳(1986—), 女, 内蒙古丰镇人, 硕士, 助理工程师, 主要从事水土保持与荒漠化防治方面工作。E-mail: liuyang453@126.com。
通信作者: 高 永(1962—), 男, 内蒙古包头人, 教授, 博士生导师, 主要从事荒漠化防治方面研究。E-mail: 13948815709@163.com。

year> after plowing. Soil density after plowing was obviously decreased compared with other stages ($P < 0.05$). The changing law of soil carbon density was the same as the total carbon density of the corn farmland ecosystem. After a whole crop growing season, soil carbon density in the corn farmland ecosystem was increased by $13\,415\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ more at the stage before plowing in the next year than that after plowing in the past year, reaching $10\,974.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$. Therefore, corn farmland ecosystem played an obvious role in fixing carbon and reducing discharge to atmosphere, allowing strong carbon sequestration capacity.

Keywords: the ecotone between agriculture and animal husbandry; corn farmland ecosystem; carbon storage; distribution pattern

农田生态系统是陆地生态系统的重要组成部分,其作为全球最活跃的碳库之一已成为当前碳汇与碳固定等领域的研究热点^[1]。全球农田是巨大的碳库,其碳储量达到 170 Pg ($1\text{ Pg} = 10^{15}\text{ g}$),占全球陆地碳储量的 10% 以上^[2]。Cole 和 Lal 等认为,全球耕地固碳潜力总和为 $0.75 \sim 1.0\text{ Pg}\cdot\text{a}^{-1}$,在未来的 $50 \sim 100\text{ a}$ 农田土壤固碳量可达 $40 \sim 80\text{ Pg}$ ^[3-5],这说明农田生态系统尤其是农田土壤有着巨大的固碳潜力。农田碳库在保持农业可持续发展和缓解气候变化方面具有积极意义,如何提高农田固碳效率是当前世界,也是我国所面临的重大的问题之一。对农田碳储量研究多集中于土壤碳库方面^[6],因而所见文献对农田作物碳储量的研究报道甚少。农田生态系统是由未被人类涉足的自然生态系统转化而来的,这期间引起了生态系统的多种变化,尤其是土壤有机碳被损失了 30% ~ 50%^[7],然而采用合理的土壤和作物管理措施可以起到重新固碳的效果^[8]。基于此,本文通过对我国北方典型农牧交错带传统耕作方式下玉米农田生态系统作物、土壤有机碳的测定,研究在一个作物生长季不同时期作物、土壤的碳分布格局及碳储量变化规律,为该区域农牧民进一步采取有效的农田管理措施、提高农田固碳能力、减少碳排放途径提供理论依据,从而指导生产实践。

1 研究区概况

试验地位于内蒙古呼和浩特市武川县上秃亥乡的马铃薯试验研发中心的试验田内,武川县是我国典型的农牧交错带,地理位置 $N\ 40^{\circ}47' \sim 41^{\circ}23'$, $E\ 110^{\circ}30' \sim 111^{\circ}32'$,海拔 $1\,630\text{ m}$,地形为波状起伏型丘陵区^[9]。多年平均年降水量 355 mm ,主要集中在 7~9 月,年平均气温仅 2.4°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的有效积温 $2\,000^{\circ}\text{C}$,无霜期 95 d,昼夜温差大,且生长季短。土壤以栗钙土为主,较贫瘠,平均有机质含量为 1.72%,全 N 为 0.119%。由于长时期高强度的人为干扰和破坏,武川县形成了退化干草原和次生林为主的林草植被类型。水土流失和风蚀面积占总面积

的 90%,生态环境异常脆弱,生态系统不断趋于退化^[10],而武川农牧交错带是我国北方重要的生态屏障,因此加强该区域农田生态系统管理是保护生态环境,建设生态文明的一项重要举措。

2 试验材料及方法

2.1 试验材料

选取当地主要作物玉米为研究对象,对该地区传统深翻耕覆膜方式下的玉米农田生态系统碳储量变化特征及其分布格局进行研究。试验以春玉米为供试材料,品种为郑单 958,玉米种植株距 $35 \sim 40\text{ cm}$,行距 $45 \sim 50\text{ cm}$,经测试试验区土壤表层 $0 \sim 30\text{ cm}$ 有机质含量 $1.0\% \sim 3.5\%$,平均含量为 1.84% ,碱解 N 含量平均为 $84\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效 P 含量平均为 $9.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效 K 含量平均为 $176\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;采用人工灌溉方法,为了保证试验精度人为控制灌溉量,频率、时间均一致,同时为了避免施肥对各处理的影响,试验区当年不进行施肥处理,当年玉米作物经济产量平均为 $7\,200\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

按照当地玉米作物生长周期,将玉米农田生态系统碳储量变化研究划分为以下 4 个时期:翻耕后(2011 年 5 月 1—5 日)、翻耕—玉米幼苗期(2011 年 7 月 5—15 日)、玉米抽穗结实—成熟收获(2011 年 9 月 25—30 日)、收获后—次年翻耕前(2012 年 4 月 1—5 日),针对玉米农田生态系统中的作物碳储量、土壤碳储量及生态系统碳储量在以上 4 个时期内的变化规律进行研究。

2.2 试验方法

1) 样品的采集。

土壤样品采集:本试验针对农田生态系统选取作物地上碳库、作物地下根系碳库和土壤碳库 3 个碳库。在作物生长的每个时期在样地内按照对角线取样原则挖取了 4 个规格为 $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ 的土壤剖面,采用环刀法分层取土样,取样深度为 30 cm (试验地耕作土壤厚度仅为 30 cm 深,其下为典型栗钙化层),每 5 cm 为一层各取两环刀土样,将土样装入

标记好的密封袋中带回实验室。其中一环刀土样采用烘干法测定容重,另一环刀土样经自然风干后过 0.05 mm 土壤筛,用于测定有机碳含率。

植物样品采集:分别在 2011 年 7 月(幼苗期)和 10 月(成熟期),在样地内采用“S”型布设法各设置 4 个 1 m×1 m 的样方,对样方内的玉米植株进行每株检尺后选取 3 株标准株齐地收获,收集玉米各器官(叶片、茎秆、果实)并称取鲜重;收获地上部分后,采用根系全挖法采取标准株全部根系,晾干后剪碎装入标记好的样品袋。

2) 试验分析方法。

对观测样地采集的玉米植株样品用干烧法测定有机碳含率。具体操作过程为:对外业采集回来的植物试验样品进行烘干处理后,分器官用型号 FZ102,转速 1400 转·min⁻¹,粉碎室内径 102 mm 的植物试样粉碎机进行粉碎,研磨后用四分法取 50 g 左右磨细,利用德国 Elementar 公司生产的 Vario MACRO 全自动干烧仪进行植物样品碳含率测试,每种样品测 3 个平行样。土壤有机碳含率采用重铬酸钾氧化-外加加热法(GB7875-87)^[3-4]测定。

3) 计算方法。

作物碳储量:单株玉米碳储量由各器官碳储量加和,计算公式如下:

$$Q_D = B_a \times M_{soc} + B_c \times L_{soc} + B_d \times N_{soc} + B_e \times O_{soc}$$

(1)

式中, Q_D 为单株作物碳储量(kg·株⁻¹); B_a 、 B_c 、 B_d 、 B_e 分别为茎秆、叶片、果实、根系生物量(kg·株⁻¹); M_{soc} 、 L_{soc} 、 N_{soc} 、 O_{soc} 分别为茎秆、叶片、果实、根系的有机碳含率(%)。

土壤碳储量:

$$SOC_D = \sum_{i=1}^k SOC_i = \sum_{i=1}^k C_i \times R_i \times E_i \times (1 - G_i)/100$$

(2)

式中, SOC_D 为土壤有机碳储量($SOC, \text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$); i 为土壤层次; C 为土壤有机碳含率($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$); R 为密度($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); E 为土层厚度(30 cm); G 为大于 2 mm 石砾体积含量^[11]。

3 结果与分析

3.1 玉米植株碳储量变化研究

3.1.1 玉米各器官生物量变化 从图 1 可以看出,幼苗期玉米各器官生物量大小表现为:叶片>茎秆>根系,方差分析表明,幼苗期各器官生物量间差异显著($P < 0.05$)。收获期单株玉米果实生物量最大为 0.17 kg,占收获期总生物量的 49.9%。其它各器

官生物量大小规律与幼苗期相同。各器官生物量均呈现收获期显著高于幼苗期的变化规律($P < 0.05$),且分别比幼苗期提高了 0.94 倍、1.07 倍、2.86 倍。

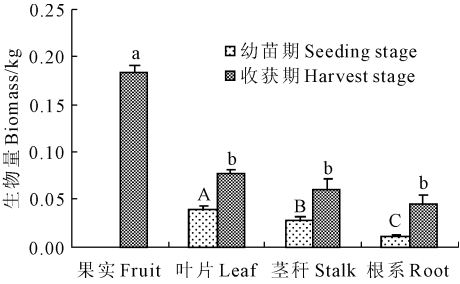


图 1 不同时期玉米各器官生物量变化

Fig.1 Biomass changes of corn organs at different stages

3.1.2 玉米各器官有机碳含率变化 作物有机碳是作物通过光合作用在体内积累有机物质的表现。在幼苗期,各器官有机碳含率表现为:叶片(47.8%)>茎秆(45.6%)>根系(33.4%),各器官平均含碳率为 42.27%;收获期各器官(果实、叶片、茎秆、根系)有机碳含率分别为 49%、45.2%、45.1%、38.1%。对两个时期各器官含碳率对比发现,收获期玉米叶片、茎秆较幼苗期有机碳含率分别下降了 5.5%、3.4%,这是由于收获期作物已到生长末期,叶片、茎秆均表现枯黄,吸收和固定碳的能力大幅下降。但根系有机碳含率比幼苗期提高了 13.9%,幼苗期—收获期玉米各器官平均碳含率为 43.3%,略低于全国玉米碳含率均值 47%^[12]。

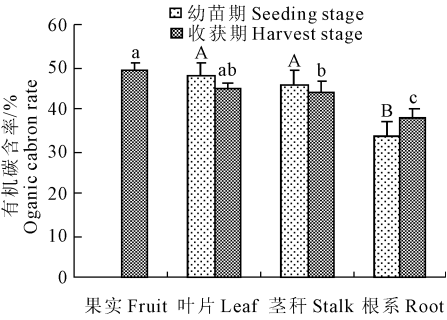


图 2 不同时期玉米各器官有机碳含率变化

Fig.2 Changes of organic carbon content rates of corn organs at different stages

3.1.3 玉米各器官碳储量变化 由图 3 可以看出:幼苗期单株玉米固碳量 0.043 kg,其中叶片碳储量最高,占单株总固碳量 51.16%,根系碳储量仅有 0.005 kg。方差分析表明:各器官碳储量差异显著($P < 0.01$);收获期单株玉米植株果实可固定碳 0.09 kg,各器官碳储量大小顺序为果实>叶片(0.035 kg·株⁻¹)>茎秆(0.027 kg·株⁻¹)>根系

($0.017\text{ kg}\cdot\text{株}^{-1}$)。比较两个时期玉米各器官碳储量及总碳储量,均为收获期极显著高于幼苗期($P < 0.01$),叶片、茎秆、根系、总碳储量分别增加了 0.61 倍、0.72 倍、2.42 倍、2.61 倍。

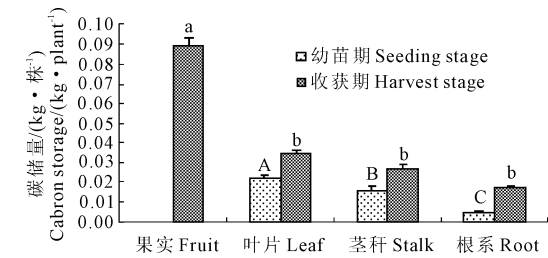


图 3 不同时期玉米各器官碳储量变化
Fig.3 Changes of carbon storage of corn organs at different stages

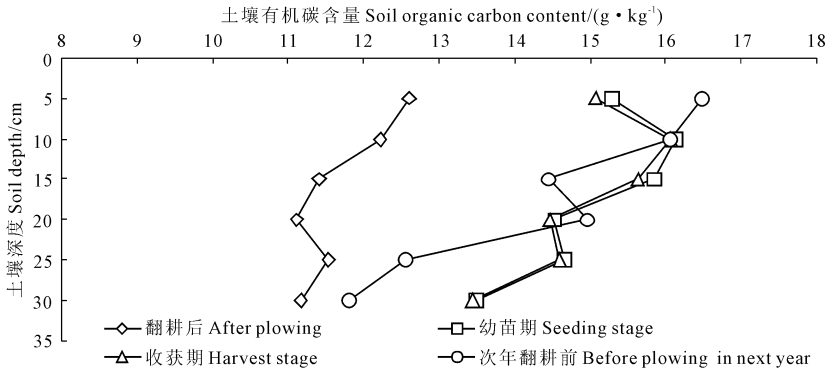


图 4 不同时期土壤有机碳含量变化
Fig.4 Changes of soil organic carbon content at different stages

可见作物生长会对土壤有机碳产生一定的影响,而当作物收获后气温大幅度降低,土壤呼吸减少,土壤碳积累逐步回升^[13];相同深度土层在不同时期变化趋势波动较大,有机碳含量与输入土壤中的有机物直接相关^[14],5~10 cm 土层有机碳含量表现为:幼苗期>收获期>次年翻耕前>翻耕后,10~15、20~25、25~30 cm 与 5~10 cm 趋势一致;15~20 cm 与 0~5 cm 趋势一致,可能是由于根系存在的深度与数量不同输入土壤的有机物不同造成的。

3.2.2 土壤碳密度变化特征 从不同时期土壤碳密度来看,翻耕后土壤碳密度显著低于其它时期($P < 0.01$),这也是由于翻耕造成土壤疏松导致土壤容重降低,促进土壤呼吸加强,土壤有机碳密度降低所导致的。每个时期土壤碳密度变化范围分别为:翻耕后在 $0.77\sim0.83\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,最大值出现在 25~30 cm,最小值在 15~20 cm;幼苗期在 $1.02\sim1.12\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,0~5 cm 最小,10~15 cm 最大;收获期在 $1.02\sim1.14\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,0~5 cm 最小,5~10 cm 最大;次年翻耕前在 $0.83\sim1.10\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,25~30 cm 最小,15~20 cm 最大。相对于有机碳含率来说,土壤碳密度

3.2 玉米农田土壤碳储量变化
3.2.1 土壤有机碳变化特征 农田土壤有机碳主要来自于原有植被残留分解的碳、农作物残茬、动植物及微生物残体、排泄分泌物、某些分解产物和土壤腐殖质。

从图 4 可以看出,0~30 cm 土壤有机碳在垂直方向总体上呈现下降趋势,不同时期土壤有机碳含量在表层 0~5 cm 出现富集,在 25~30 cm 最为贫瘠。土壤有机碳含量在不同生长时期变化规律为:翻耕后($11.2\sim12.6\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)<收获期($13.4\sim15.1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)<幼苗期($13.5\sim15.3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$),次年翻耕前波动范围较大,一般在 $11.8\sim16.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。翻耕后的土壤有机碳较其它时期土壤碳含量显著下降($P < 0.01$),其它时期变化差异不明显($P < 0.05$)。

变化规律性不明显,这是由于碳密度不仅受有机碳含率的影响还与土壤容重有关,虽然土壤有机碳密度随着土壤深度增加呈下降趋势,但容重却呈上升趋势^[5],相互作用之下,造成土壤碳密度随垂直深度无明显规律。

研究同一土壤深度不同时期碳密度变化发现,土壤碳密度在各时期变化总体上表现为:收获期>次年翻耕前>幼苗期>翻耕后,土壤碳密度随年际变化相对比较小,当一年的农业活动结束碳密度基本能恢复到前一年的水平,因此建议在次年开展作物种植前应补施碳肥以满足作物次年的生长需要。

3.3 玉米农田生态系统碳储量分布
3.3.1 作物碳垂直分布 从图 6、图 7 可知:不论幼苗期还是收获期均表现为地上部分有机碳含率和碳储量显著高于地下部分($P < 0.05$),地上部分有机碳含率在 46.1%~46.7%之间变化,地下部分在 33.4%~38.1%之间波动,这也说明地上部分是玉米植株进行光合作用碳吸收的主要器官。从玉米植株碳储量来看,变化规律与有机碳含率的相似,即地上部分显著高于地下部分,达极显著水平($P < 0.01$)。

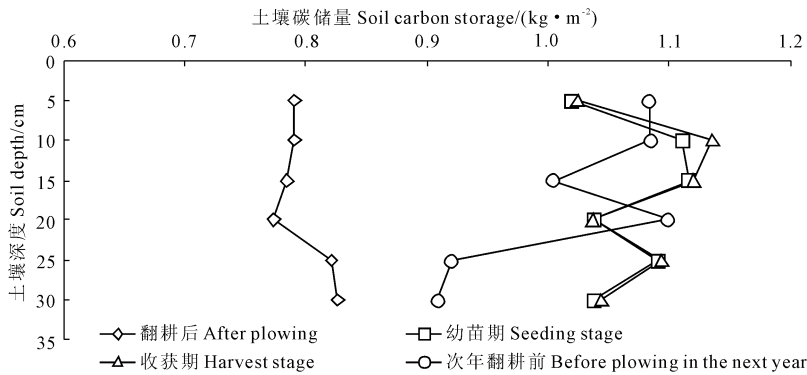


图 5 不同时期土壤碳储量变化

Fig. 5 Changes of soil carbon storage at different stages

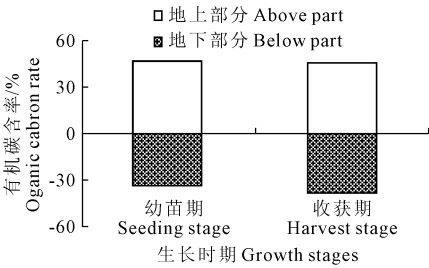


图 6 不同时期作物有机碳含量变化

Fig. 6 Organic carbon content rate pattern of corn at different stages

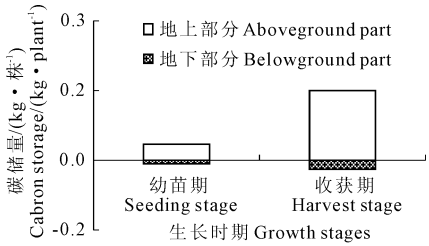


图 7 不同时期作物碳含量变化

Fig. 7 The pattern of corn carbon storage at different stages

3.3.2 土壤碳垂直分布 从图 8、图 9 发现:0~30 cm 土壤有机碳含量为幼苗期($15.0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)>收获期($14.9\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)>次年翻耕前($14.4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)>翻耕后($11.7\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$),不同时期土壤碳储量变化与有机碳含量变化规律一致。0~30 cm 土层平均有机碳含量随着土层深度增加总体上有下降的趋势。从 0~30 cm 土壤密度来看,土壤碳密度从小到大依次为幼苗期($6.45\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$)>次年翻耕前($6.41\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$)>收获期($6.10\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$)>翻耕后($4.79\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$)。

3.4 玉米农田生态系统碳密度分析

从表 1 可以看出,作物生长不同时期各碳库碳密度变化有明显差异,其中土壤碳密度变化最为明显,翻耕后的土壤碳密度最低为 $47\ 854\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,收

获期土壤碳密度最高达 $64\ 539\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,这是由于而后随着冬春季的到来土壤呼吸减少,加之该区域冬春两季风力强劲导致表层土壤被风蚀造成了土壤碳损失,这也是在次年翻耕前土壤碳储量不仅没有增加反而出现了降低的原因。土壤总密度表现为:收获期>幼苗期>次年翻耕前>翻耕后;在玉米农田生态系统中土壤碳库是最大的组成部分,其次为玉米植株的地上碳库,最后为地下根系碳库。从玉米农田生态系统整体碳密度的变化规律来看,经过一个完整的作物生长季土壤碳密度在次年翻耕前较前一年翻耕后增加了 $13\ 415\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;而作物的碳密度在收获期最大,高达 $10\ 974.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。由此看来,玉米农田生态系统对固碳减排有较为明显的作用,其“碳汇”能力较高。

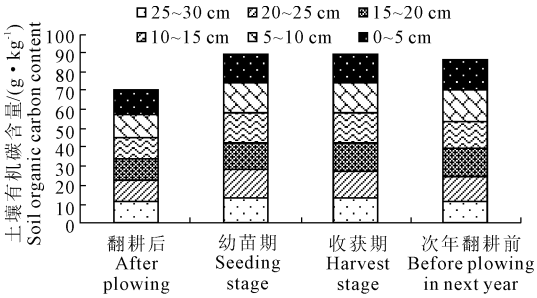


图 8 不同时期作物有机碳含量变化

Fig. 8 Organic carbon content rate pattern of corn at different stages

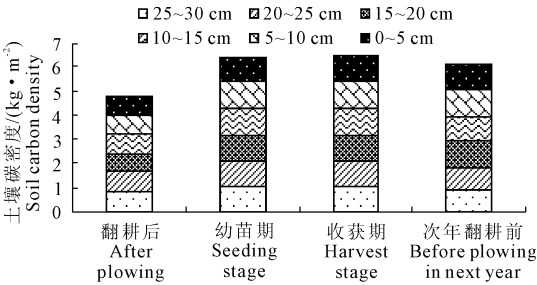


图 9 不同时期土壤碳密度变化

Fig. 9 The pattern of corn carbon density at different stages

表 1 玉米农田生态系统碳密度比较

Table 1 Comparisons of carbon densities of the corn farmland ecological system

时期 Stages	植株地上碳密度 Plant carbon density of above part/(kg·hm ⁻²)				根系碳密度 Root carbon density /(kg·hm ⁻²)	土壤碳密度 Soil carbon density /(kg·hm ⁻²)	总碳密度 Total carbon density /(kg·hm ⁻²)
	果实 Fruit	叶片 Leaf	茎秆 Stalk	合计 Sum			
翻耕后 After plowing						47854	47854.00
幼苗期 Seeding stage		1419.5	1012.6	2432.1	324.6	64111	66867.95
收获期 Harvest stage	5835.2	2285.2	1745.6	9866.0	1108.8	64539	75514.22
次年翻耕前 Before plowing in the next year						60999	60999.00

4 讨论与结论

4.1 讨 论

以往对农田碳储量的研究主要集中在土壤碳储量方面,对作物碳储量的研究较少,尺度范围都是省区一级的,而且以估算为主。本文在前人的研究基础上,通过对玉米农田不同生长时期作物、土壤碳库碳储量的定点监测,研究发现在幼苗期,各器官有机碳含率表现为:叶片(47.8%)>茎秆(45.6%)>根系(33.4%),单株玉米平均碳含率为42.27%;在收获期,各器官(果实、叶片、茎秆、根系)有机碳含率分别为49%、45.2%、45.1%、38.1%,单株玉米平均碳含率为44.35%;地上部分有机碳含率在46.1%~46.7%之间变化,地下部分在33.4%~38.1%之间变化,不论幼苗期还是收获期均表现为地上部分显著高于地下部分($P<0.05$)。从玉米植株碳储量来看,变化规律与有机碳含率的相似,即地上部分显著高于地下部分,达极显著水平($P<0.01$),这与高明博等的研究基本一致,其研究表明玉米植株在不同生长期各器官碳含率存在差异,叶片、茎秆、果实等地上器官碳含率显著高于根系^[13]。魏婷婷对郑州东区玉米农田生态系统研究表明:单株玉米平均碳含率在30%~40%范围内波动,玉米长势越好植株碳含率越大。所以,区域地理环境、玉米品种及长势都能影响玉米植株有机碳含率^[14]。在碳库选择时,考虑到农田管理的特殊性,在田间管理中人为清除杂草,本文未将地表杂草计入碳计量中。对农田碳储量变化的影响因子还有待更细化、更深入研究。

4.2 结 论

1) 我国北方农牧交错带传统深耕覆膜方式下玉米农田生态系统幼苗期—收获期,单株玉米平均碳含率为43.3%,略低于全国玉米碳含率均值47%;除根系外,玉米叶片、茎秆有机碳含率变化规律表现为幼苗期(47.8%、45.6%)>收获期

(45.2%、45.1%),收获期玉米单株植物碳储量是幼苗期的3.93倍。

2) 玉米农田生态系统土壤碳密度为收获期>幼苗期>次年翻耕前>翻耕后;土壤有机碳含率、碳密度均为翻耕后较其它时期显著降低;玉米农田生态系统总碳密度与土壤碳密度变化规律一致。

3) 研究区玉米成熟期植株各器官碳储量最大的为玉米果实,单株玉米果实碳储量可高达0.09 kg,占单株玉米总碳储量的53.25%;其次为叶片和茎秆,最低为根系;从作物碳储量垂直分布来看,传统耕作方式下各时期地上部分碳储量显著高于地下根系部分;从土壤碳储量垂直分布来看,传统耕作方式下耕作层的土壤碳储量随着土层增加变化规律不明显。

4) 玉米农田生态系统经过一个完整的作物生长季土壤碳密度在次年翻耕前较前一年翻耕后增加了13 415 kg·hm⁻²;而作物的碳密度在收获期最大,高达10 974.8 kg·hm⁻²。玉米农田生态系统对大气有明显的固碳减排作用,其“碳汇”能力较高。

致谢:感谢党晓宏、马迎宾、黄雅茹等同学外业的大力帮助。

参 考 文 献:

[1] 陶 波,葛全胜,李克让,等.陆地生态系统碳循环研究进展[J].地理研究,2001,20(5):564-574.

[2] Schneider U A. Agricultural Sector Analysis on Greenhouse Gas Emission Mitigation in the United States[D]. United states Texas: Texas A&M University,2000.

[3] Cole C V. Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emission[C]//Climate change Impacts, Adaptations and Mitigation of climate change: Intergovernmental panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press,1996:1-27.

[4] Lal R, Kimble J M, Follett R F. The Potential of US Cropland to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect[M]. LLC, Boca Raton,Florida: CRC Press, 1998.

物,例如:徐文修等^[18]对新疆棉区的光合生产潜力、光温生产潜力进行了估算,朱勇^[19]对辽宁省大豆的光合生产潜力、光温生产潜力进行了计算分析,刘建栋^[20]、李登科^[21]对冬小麦气候生产潜力进行了研究;本文借鉴大田生产潜力的估算方法,利用黄瓜日光温室内小气候观测资料,对温室光合生产潜力、光温生产潜力进行了估算,研究结果对温室生产有一定的指导作用。

由于日光温室内小气候除受外界天气条件的影响外,还与温室的大小、结构、种植品种、管理方式等因素有关,所以不同温室内小气候存在一定的差异,致使光合、光温生产潜力也有一定差异。但本文选用了三个生产季资料,且所选生长季的气候条件既包括了日照时数较多,气温偏高的年份,又包括了出现持续无日照天数较长,光照较差,气温偏低的年份,因此得到的光合、光温生产潜力有一定的代表性。

参 考 文 献:

[1] 村田吉男 著,郑丕尧 译.几种主要作物的光合作用和产量形成[M].北京:农业出版社,1978.

[2] Loomis R S, Williams W A. Maximum crop productivity: An estimate[J]. Crop Science,1963,3(1):67-72.

[3] De Wit. Photosynthesis in leaf canopies. Agri. Res. Report. Center-Agr[M]. Wageningen: Pudoc, 1965:201-300.

[4] De Wit. Simulation of assimilation, respiration and transpiration of crops. Simulation Monographs [M]. Wageningen: Pudoc, 1978: 1-112.

[5] Hanks R J. Yield and Water-use Relationships: An Qvervien[C]// H M Taylor. Limitation to Efficient Water Use in Crop Production. USA: Madison WI, 1983.

[6] Higgins G M, Kassam A H. Regional assessment of land potential: Afallow up to the FAO[J]. Nature and resoures, 1981,17(4):11-23.

[7] 黄秉维.中国农业生产潜力—光合潜力[C]//地理集刊(17).北京:科学出版社,1985.

[8] 陈明荣,龙斯玉.中国气候生产潜力区划的探讨[J].自然资源,1983,17(3): 72-79.

[9] 侯光良,刘充芬.我国气候生产潜力及其分区[J].自然资源,1985,19(3):52-59.

[10] 陈国南.用迈阿密模型测算我国生物生产量的初步尝试[J].自然资源学报,1987,2(3):270-278.

[11] 高素华,潘亚茹,郭建平.气候变化对植物气候生产力的影响[J].气象,1994,20(1):30-33.

[12] 林忠辉,莫兴国,项月琴.作物生长模型研究综述[J].作物学报,2003,29(5):750-758.

[13] 王恩利,韩湘玲.黄淮海地区冬小麦、夏玉米生产力评价及其应用[J].中国农业气象,1990,11(2):41-45.

[14] 竺可桢.论我国气候的几个特点及其与粮食作物生产的关系[J].地理学报,1964,(1):1-13.

[15] 许彦平,姚晓红,蒲永义,等.天水日光温室光温生产潜力估算及区划研究[J].甘肃科学学报,2004,16(1):52-56.

[16] 褚金翔,孙忠富,杜克明,等.基于 TOMSIM 模型的温室番茄中杂 9 号生产潜力的空间分析[J].中国农业气象,2009,30(1):49-53.

[17] 李永秀,罗卫红,倪纪恒,等.温室黄瓜干物质分配与产量预测模拟模型初步研究[J].农业工程学报,2006,22(2):116-120.

[18] 徐文修,牛新湘,边秀举.新疆棉花光温生产潜力估算与分析[J].棉花学报,2007,19(6):455-460.

[19] 朱 勇.辽宁省大豆气候生产潜力及气候资源满足率计算模式研究[J].沈阳农业大学学报,2013,44(2):213-218.

[20] 刘建栋,傅抱璞,金之庆,等.应用 ARID CROP 模型对中国黄淮海地区冬小麦气候生产力的数值模拟研究[J].自然资源学报,1997,12(3):282-287.

[21] 李登科,刘笃恩,刘耀武.冬小麦气候生产力的宏观动态模拟模型[J].干旱地区农业研究,1992,10(4):1-8.

(上接第 219 页)

[5] Lal R. Carbon sequester ration in dryland[J]. Annual Arid Zone, 2000,39(1):1-10.

[6] 方精云,郭兆迪,朴世龙.1981—2000 年中国陆地植被碳汇的估算[J].中国科学(D 辑),2007,37(6):804-812.

[7] Fang J, Chen A, Peng C, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998[J]. Science, 2001,292: 2320-2322.

[8] 金姝兰,杨芳英.江西农作物碳储量估算与分析[J].广东农业科学,2011,(2):16-18.

[9] 杨文耀.内蒙古武川旱农区主要农作物生产潜力与开发途径的研究[J].干旱区资源与环境,1995,9(1):66-70.

[10] 董孝斌,高旺盛.农牧交错带农业生态系统生产力的能值分析——以武川县为例[J].干旱区资源与环境,2005,19(7):33-37.

[11] 张 剑,罗贵生,王小国,等.长江上游地区农作物碳储量估算及固碳潜力分析[J].西南农业学报,2009,22(2):402-408.

[12] 邱建军,王立刚,唐华俊,等.东北三省耕地土壤有机碳储量变化的模拟研究[J].中国农业科学,2004,37(8):1166-1171.

[13] 高明博,张俊丽,海江波,等.有机培肥化肥减量对夏玉米含碳率及固碳量影响[J].西北农业学报,2011,20(12):72-76.

[14] 魏婷婷.郑州东区生态系统碳循环研究[D].郑州:河南农业大学,2008.