

艾比湖湿地不同植被覆盖下土壤碳蓄积对比分析

刘可祥,王勇辉

(新疆师范大学地理科学与旅游学院,新疆 乌鲁木齐 830054)

摘 要:以艾比湖湿地两种植被类型覆盖下的土壤为研究对象,运用野外采样、室内分析等方法测试并计算灌木荒漠、小乔木荒漠两种植被类型土壤 5 个土层深度土壤碳蓄积量。研究结果显示:土壤有机碳含量的分布规律高低次序为小乔木荒漠大于灌木荒漠,小乔木荒漠有机碳含量最高值为 $19.44\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,灌木荒漠有机碳含量最高值为 $8.11\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。土壤有机碳含量最高值均出现在土壤表层(0~20 cm),土壤有机碳密度表现为土壤表层(0~20 cm)最高(灌木荒漠为 $2.48\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,小乔木荒漠为 $6.37\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$)。土壤有机碳蓄积量计算结果为:灌木荒漠、小乔木荒漠植被覆盖下土壤碳蓄积量分别为 $344\ 856.23$ 、 $3\ 743\ 517.41\text{ kg}$,小乔木荒漠土壤碳蓄积能力高于灌木荒漠土壤碳蓄积能力。上述研究可对干旱区湿地土壤碳循环、艾比湖湿地生态修复等提供科学参考。

关键词:碳蓄积;有机碳;土壤;艾比湖湿地

中图分类号:S153.6 **文献标志码:**A

The Ebinur Lake wetland soil carbon accumulation analysis under different vegetation types

LIU Ke-xiang, WANG Yong-hui

(College of Geography and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang 830054, China)

Abstract: This research take in wetland soil covered by two different plants in the Ebinur Lake as the research object. By the ways field sampling and laboratory analysis, we tested the soil covered by desert shrubs and microphanerophytes desert shrubs and calculated the carbon stock volume in 5 different soil layers. The results show that the soil carbon content in microphanerophytes desert is $19.44\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ which is much higher than that in shrub desert, the maximum content of carbon in the shrub desert. The peak organic carbon content occurs in the soil's surface layer(0~20 cm), and the maximum organic carbon density also is presented in the soil's surface layer(0~20 cm). Soil in shrubs desert is $2.48\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, soil in microphanerophytes desert is $6.37\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. The calculation of soil accumulate stock volume of organic carbon show that the carbon accumulation, soil in desert shrubs is $344\ 856.23\text{ kg}$, and which is $3\ 743\ 517.41\text{ kg}$ in microphanerophytes desert. Soil carbon acumulationed ability in the microphanerophytes desert is higher than the shrub desert. This research can provide scientific reference for soil carbon cycle in arid wetland region and ecological restoration of Ebinur lake.

Keywords: carbon accumulation; organic carbon; vegetation type; Ebinur Lake wetland

湿地是陆地与水体间过渡的独特生态系统,是自然界生物多样性最丰富的生态系统之一^[1]。湿地面积相较于其它地域面积而言,在地球表面积中所占比例较小,但其碳储量丰富,其对生态系统的影响不可忽视。湿地经过长期碳积累是巨大的碳库,而且在全球碳循环中扮演着重要的碳汇角色^[2]。湿地土壤有机碳含量兼有“碳源”与“碳汇”的双重功能,其碳循环对大气全球碳收支以及与之相关的全球气候

变化有重要影响^[3]。全球碳收支平衡和大气 CO₂ 浓度都会因湿地土壤碳储量的变化而产生影响,从而影响到人类活动;尤其是在干旱区环境下,土壤有机质尤为贫瘠,且荒漠面积较大,湿地的固碳作用显得尤为重要。植物种类对有机碳的输入产生作用,通过对土壤有机碳储量、分布、转化机理进行研究,进而揭示其影响因素和生态效应^[2,4]。全球气候变化和环境恶化的加剧使研究人员更加重视土壤有机

收稿日期:2016-06-22 修回日期:2017-12-16
基金项目:新疆维吾尔自治区重点实验室开放课题(2016D03007);中国沙漠气象科学研究基金(sqj2015013)
作者简介:刘可祥(1992—),男,硕士,研究方向为干旱区资源利用与环境演变。E-mail: 615520486@qq.com。
通信作者:王勇辉(1977—),男,副教授,博士,主要从事干旱区资源利用与环境演变方面的研究。E-mail: wyhsd_3011@163.com。

碳的研究,其中土壤有机碳分布和含量研究已成为碳循环研究的重要部分。莫莉萍等^[5]研究发现不同红树林群落样地土壤有机碳含量出现差异,这说明植被类型对土壤碳蓄积会产生影响,能够改变土壤碳蓄积量的格局。近 50 年来,人类活动日益频繁,改变了干旱区湿地的格局,对干旱区湿地碳收支平衡产生了重要影响,进而影响到整个生态系统的健康运行和区域社会经济可持续发展。因此,研究干旱区湿地土壤有机碳含量对保护干旱区湿地,遏制干旱区环境恶化具有重要意义。目前,对我国土壤碳储存和碳含量的研究主要集中在大小兴安岭、三江平原沼泽湿地、长江中下游的湖泊湿地、青藏高原,对西北干旱区湿地的研究较少。

土壤质量很大程度上受土壤有机碳的影响,主要通过土壤结构、土壤生物多样性等表现;土壤有机碳含量的多少决定了土壤的肥力强弱,进而为植物生长发育供应、协调营养因素和环境条件。中国干旱区土壤呈现出三个性质完全不同的生物土壤气候带,分别是栗钙土、棕钙土和灰钙土带,灰棕漠土带,棕灰漠土带;主要包括棕漠土、灰棕漠土、棕钙土和灰钙土等土壤类型。土壤有机碳与土壤理化性质相关性可通过土壤剖面数据资料进行分析、探讨,为干旱区碳循环过程提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

艾比湖湿地是中国内陆干旱区湖泊湿地的典型,地处天山北麓、准噶尔盆地的西南部,其南、西、北三面环山,东部与木特塔尔沙漠相连,地理坐标为 82°36′~83°50′E,44°30′~45°09′N。1972—2011 年期间,艾比湖的面积在不断缩小,其值达 115.03 km²^[6]。艾比湖地区属于典型的温带干旱大陆性气候,降水稀少,蒸发量大,气候干燥,年平均降水量约为 105.17 mm,蒸发量为 1 315 mm,年平均气温约为 8℃。区内典型地带性土壤类型有灰漠土、灰棕漠土、风沙土,隐域性土壤类型为盐土、草甸土和沼泽土。各类荒漠植物有 385 种,占全国荒漠植物种类的 64%^[7]。独特的自然地理因素决定了其生态环境极其脆弱,对气候变化和人类活动的响应较为敏感。土地覆被情况严重影响着生态系统的结构和功能,进而影响到区域生态环境^[8-10]。本文根据艾比湖湿地灌木荒漠、小乔木荒漠两种植被类型覆盖条件,采集样本测试土壤有机碳含量、土壤碳密度等指标,进而探讨艾比湖湿地土壤有机碳蓄积量。

1.2 样品采集与处理

依据艾比湖湿地的环境情况,按照代表性原则,

在艾比湖湿地设点采样,实验采用随机采样和重点抽样相结合的方法,每隔约 1~3 km 对所研究的植被覆盖的土壤进行采集。用不锈钢螺旋土钻,采样深度 100 cm,按 0~20、20~40、40~60、60~80 cm 和 80~100 cm 五个深度分层采集各土层的土壤样品,并在各层分别取环刀样,返回后在实验室进行专门分析。详细记录采样点的植被类型、土壤类型、土地利用方式、经纬度坐标及高程等相关信息。野外采回的土样经自然风干后,剔除石块、植物根茎、人为侵入物等杂物,经过磨细,然后通过孔径 0.25 mm 筛,混匀,装入纸袋,进行土壤理化指标的测定。测试指标有土壤有机碳、土壤容重、土壤水分等。

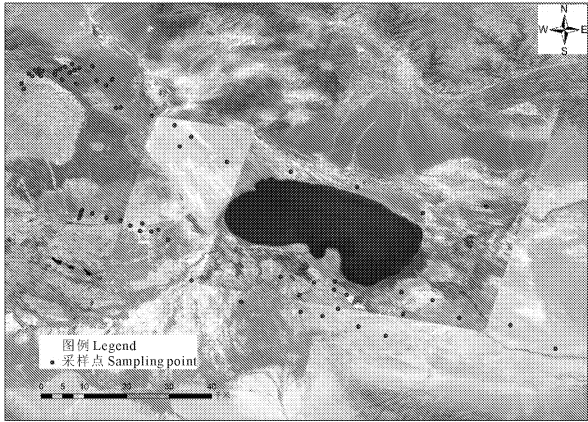


图 1 采样点分布图

Fig.1 Sample point distribution

1.3 数据分析与计算方法

土壤有机碳密度是单位面积内一定土层深度土壤有机碳的分布情况,计算公式为:

$$SOCD_i = C_i \rho_i H_i \times 10^{-2}$$

式中, $SOCD_i$ 为第 i 层土壤有机碳密度(kg·m⁻²); C_i 为第 i 层中土壤有机碳的含量(g·kg⁻¹); ρ_i 为第 i 层的土壤容重(g·cm⁻³); H_i 为剖面深度(cm); 10^{-2} 为单位转换系数。

土壤有机碳储量($SOC_{storage}$) 可以用以下公式求得:

$$SOC_{storage} = S \times SOCD$$

式中, S 为不同植被覆盖土壤面积, $SOCD$ 为土壤有机碳密度。

2 结果与分析

2.1 研究区域不同植被覆盖条件下土壤有机碳特征分析

由表 1 可知,在 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 土层中,土壤有机碳含量的分布规律均为小乔木荒漠>灌木荒漠。这两种植被类型间,20

~40、60~80 cm 土壤有机碳含量差异显著。其中,灌木荒漠植被类型的土壤有机碳随土层深度的增加而减少;小乔木荒漠植被类型的土壤有机碳含量表现为:表层(0~20 cm)有机碳含量最大,且随土层的加深依次减小,但 60~80 cm 土层土壤有机碳含量高于 40~60 cm 土层含量。相比小乔木荒漠,灌木荒漠各土层深度有机碳含量总体较小。分析表明,土壤有机碳表层(0~20 cm)分布集中,其它土层土壤有机碳都低于表层,且其它土层间土壤有机碳差异不大。王棣等^[11]对秦岭典型林分土壤研究得出,土壤有机碳含量均随土层深度的增加而减小,与此研究有所差异。出现差异的原因可能是秦岭研究区植被较艾比湖湿地丰富,且植物根系密度随土层加深而减小导致。

2.1.1 研究区域两植被覆盖下土壤有机碳垂直特征分析 湿地不同土壤深度的碳储量程度不同,土壤有机质在垂直方向上的分异,主要是受地表枯落物、植物残根等腐解归还的影响。土壤的碳主要以有机碳形式存在,并且越靠近地表,有机碳所占比例越大。本研究中,灌木荒漠由表层至 100 cm 处有机碳含量依次为 8.11、6.28、5.07、2.32、2.31 g·kg⁻¹;小乔木荒漠由表层至 100 cm 处有机碳含量依次为 19.44、14.65、14.33、14.89、11.93 g·kg⁻¹;两种植被类型覆盖下土壤有机碳最大值都是出现在表层(0~20 cm),最小值都在 80~100 cm 土层,且表层有机碳含量与 80~100 cm 土层有机碳含量差异较明显,与所列的其它区域的研究结论基本一致。各土层有机碳变异系数见表 1。根据变异系数的划分,当 CV<0 时,表现为弱变异性;当 0.1≤CV≤1.0 时,表现为中等变异;当 CV>1.0 时,表现为强变异性。灌木荒漠覆被土壤 20~100 cm 土层有机碳表现为中等

变异,0~20 cm 土层土壤有机碳表现为强变异性;小乔木荒漠覆被土壤 0~80 cm 土层土壤有机碳表现为强变异性,80~100 cm 土层土壤有机碳表现为中等变异。通过本研究区数据可以得出,随着土壤深度的增加,艾比湖湿地土壤有机碳含量总体上逐渐下降。这与孙慧兰等^[12]对伊犁山地不同海拔土壤有机碳分布的研究结果相同。

2.1.2 研究区域两种植被覆盖下土壤有机碳含量分析 结合表 1 可看出,相同植被覆盖不同层次土壤条件下,有机碳含量的分配比例也不相同。灌木荒漠表层(0~20 cm)所占比例为 33.7%,20~40 cm 比例为 26.1%,40~60 cm 比例为 21%,60~80 cm 比例为 9.6%,80~100 cm 比例为 9.6%;小乔木荒漠表层(0~20 cm)所占比例为 25.8%,20~40 cm 比例为 19.5%,40~60 cm 比例为 19%,60~80 cm 比例为 19.8%,80~100 cm 比例为 15.9%。上述分析中,两种植被都是土壤表层(0~20 cm)有机碳含量所占比例最大,其它土层间比例差异不明显,分布较均匀,变化不显著。本研究中的两植被类型,土壤有机碳含量的差异主要表现在 0~20 cm 土层,表层(0~20 cm)植物的凋落物多于其它土层,使得土壤有机碳积累量较大。同时,植物的根系多分布在土壤浅层,随着土层剖面加深,植物根系分布数量与范围逐渐减少,有机碳来源变少,有机碳含量递减。

2.2 艾比湖湿地两种不同植物覆被下土壤有机碳密度

土壤有机碳密度被定义为单位面积一定深度土层中土壤有机碳的储量,因为排除了面积因素的影响而以土体体积为计算基础,土壤碳密度已经成为评价和衡量土壤中有有机碳储量的一个极其重要的指标^[13]。与土壤有机碳含量分布情况一致,两种植被

表 1 两种植被类型不同土层深度有机碳统计分析表
Table 1 Statistical analysis of distribution of soil organic carbon in the two types of vegetation

植被类型 Vegetation type	土层深度 Soil depth/cm	有机碳 SOC/(g·kg ⁻¹)	最大值 Max	最小值 Min	标准差 Standard deviation	变异系数 CV
灌木荒漠 Desert shrub	0~20	8.11	32.07	0.80	10.57	1.30
	20~40	6.28	19.65	1.18	6.00	0.96
	40~60	5.07	18.10	1.21	4.85	0.96
	60~80	2.32	8.56	0.66	1.98	0.85
	80~100	2.31	7.55	0.55	1.87	0.80
小乔木荒漠 Microphanerophytes desert	0~20	19.44	115.85	1.42	24.72	1.27
	20~40	14.65	86.89	0.81	18.90	1.29
	40~60	14.33	72.41	1.01	19.52	1.36
	60~80	14.89	105.51	0.65	21.48	1.44
	80~100	11.93	37.24	1.42	9.26	0.78

类型中,0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 土壤有机碳密度均以小乔木荒漠植被类型最高,且各土层的土壤有机碳密度值均表现为小乔木荒漠高于灌木荒漠。由图 2 可以得出,同一植被类型不同土层深度,土壤有机碳密度程度有所不同,对土壤的影响也各有差异。灌木荒漠和小乔木荒漠植被的土壤表层(0~20 cm)碳密度含量最高。辛琨等^[14]对海南岛红树林的研究也得出土壤有机碳密度最大值出现在 0~20 cm。随着土层深度的增加,灌木荒漠碳密度含量逐渐减小,在 80~100 cm 土层达到最低(仅针对所研究土层深度);小乔木荒漠植被随着土层深度的增加,碳密度含量减小,但在 60~80 cm 土层处出现较小反弹。由图 3 可看出,艾比湖湿地两种植被下,有机碳密度在不同土层的占比差异。小乔木荒漠表层(0~20 cm)、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm 土层有机碳密度比例分别为 25.8%,19.5%,19.0%,19.8%,15.9%;灌木荒漠各土层有机碳密度比例分别为 33.7%,26.1%,21.0%,9.6%,9.6%。由此也可以充分说明在干旱区湿地,不同的植被类型其固碳能力不同,碳汇程度也有所差别,从而对干旱区湿地产生不同的影响。

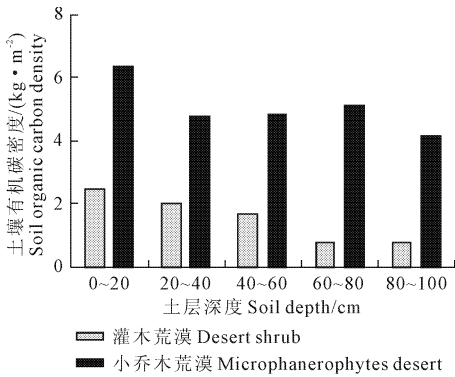


图 2 两种植被土壤有机碳密度

Fig.2 Compare organic carbon density with different planting

2.3 艾比湖湿地不同植被覆盖下土壤碳蓄积量及成因分析

陆地生态系统是全球碳循环的重要构成因子,在全球碳收支中扮演着重要角色。据估计,陆地生态系统碳储量达 2.1×10^{12} t,其中 2/3 贮藏在土壤中^[15-17]。湿地生态系统土壤碳储量约为 450 Pg(1 Pg= 10^{15} g),占全球土壤总储量的 1/3^[18]。干旱区湿地区域内,不同的植被类型影响着土壤的有机碳储量。如图 4 所示,灌木荒漠、小乔木荒漠的土壤有机碳储量存在明显的差异,在 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 的 5 个土层中,土壤有机碳储量表现为小乔木荒漠都远高于灌木荒漠;两植被

覆盖下的土壤有机碳储量最大值都出现在表层,且灌木荒漠土壤有机碳储量随着土层的加深而逐渐降低。

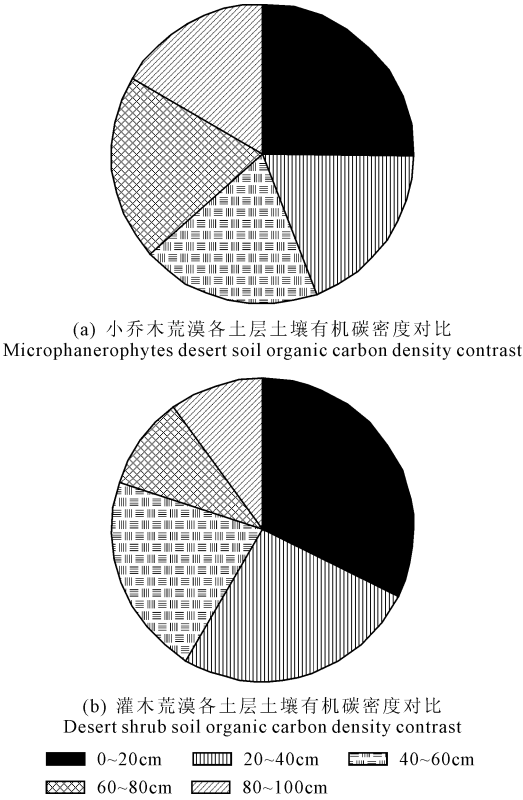


图 3 两种植被不同土层碳密度比较

Fig.3 Compare soil carbon density with different planting

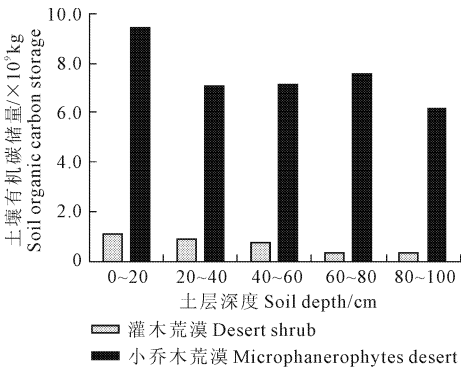


图 4 湿地不同植被类型土壤有机碳储量

Fig.4 Soil organic carbon of different wetland vegetation types

表 2 表明了艾比湖湿地不同植被类型覆盖下土壤有机碳各土层的蓄积量。灌木荒漠植被不同土层蓄积量区间为 34 080.88~111 209.44 kg,累计蓄积量为 344 856.2 kg;小乔木荒漠植被不同土层蓄积量区间为 618 405.40~943 376.73 kg,累计蓄积量为 3 743 517 kg;蓄积量高低顺序依次为小乔木荒漠、灌木荒漠。同一植被类型不同土层下,有机碳蓄积量表现出差异性。与土壤有机碳含量、土壤碳密度

情况相同,所研究的两种植被类型表层(0~20 cm)有机碳蓄积量最高;灌木荒漠植被 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 土层有机碳蓄积量明显高于 60~80 cm、80~100 cm 土层有机碳蓄积量;小乔木荒漠植被 20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm 土层有机碳蓄积量差别不大,比较接近。

表 2 艾比湖湿地土壤有机碳蓄积量统计表
Table 2 Statistics of soil organic carbon storage in Ebinur Lake wetland

植被类型 Vegetation type	土层 /cm	有机碳含量 /(g·kg ⁻¹)	有机碳密度 /(kg·m ⁻²)	面积 /hm ²	蓄积量 /kg
灌木荒漠 Desert shrub	0~20	8.11	2.48	148134.0	111209.44
	20~40	6.28	2.02	148134.0	90440.61
	40~60	5.07	1.66	148134.0	74540.37
	60~80	2.32	0.76	148134.0	34080.88
	80~100	2.31	0.77	148134.0	34584.93
小乔木荒漠 Microphanerophytes desert	0~20	19.44	6.37	33699.9	943376.73
	20~40	14.65	4.79	33699.9	709206.18
	40~60	14.33	4.84	33699.9	717568.44
	60~80	14.89	5.10	33699.9	754960.66
	80~100	11.93	4.17	33699.9	618405.40

群落物种组成,即功能性状组合对揭示土壤碳汇的影响机制不容忽视^[19]。本研究中,在 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm 土层中,灌木荒漠、小乔木荒漠有机碳含量分别为 8.11、19.44 g·kg⁻¹、6.28、14.65 g·kg⁻¹、5.07、14.33 g·kg⁻¹、2.32、14.89 g·kg⁻¹、2.31、11.93 g·kg⁻¹。由此可得出,不同的植被类型对湿地土壤有机碳的影响程度也有所不同。湿地植物群落构成由多种植物参与其中,所以在同一湿地区域,单位面积有机碳密度也不尽相同。

3 结 论

通过对艾比湖湿地两种不同覆被类型(小乔木荒漠、灌木荒漠)土壤有机碳分布规律、影响因素及蓄积量、碳密度、碳储量进行分析,得出以下结论:

(1) 土壤有机碳含量的分布规律高低次序为小乔木荒漠>灌木荒漠,小乔木荒漠有机碳含量最高值为 19.44 g·kg⁻¹,灌木荒漠有机碳含量最高值为 8.11 g·kg⁻¹,土壤有机碳含量最高值均出现在土壤表层(0~20 cm)。小乔木荒漠、灌木荒漠覆盖的土壤中,小乔木荒漠的固碳能力强于灌木荒漠,小乔木荒漠土壤有机碳变化幅度较大,其含量变化由 19.44 g·kg⁻¹减少到 11.93 g·kg⁻¹。

(2) 两植被类型覆盖下土壤有机碳的垂直分布特征为随着土层的加深,有机碳含量减少,但两植被的变化幅度不同。表层(0~20 cm)土壤下,小乔木荒漠覆被下土壤有机碳含量最大;20~100 cm 土层,两植被覆盖下土壤有机碳含量逐渐变小,但小乔木

荒漠类型在 60~80 cm 土层出现反弹,高于 40~60 cm 土层有机碳含量。在土壤有机碳的垂直空间变异性方面,小乔木荒漠大多属于强变异,灌木荒漠覆盖下土壤类型为中等变异。

(3) 两种植被覆盖的土壤有机碳密度、土壤有机碳储量比较,得出小乔木荒漠覆盖的土壤碳密度及碳储量含量高于灌木荒漠;在各土层有机碳密度、土壤有机碳储量分配比例方面,两植被类型都是表层(0~20 cm)所占比例最高,达到 1/4 以上。艾比湖湿地土壤有机碳蓄积量为小乔木荒漠大于灌木荒漠,分别为 3 743 517 kg 和 344 856.2 kg;两种不同土壤类型的有机碳蓄积总量为 4 088 373.64 kg。

参 考 文 献:

[1] 廖小娟,何东进,王 韧,等.闽东滨海湿地土壤有机碳含量分布格局[J].湿地科学,2013,11(2):192-197.
[2] 张 莉,郭志华,李志勇.红树林湿地碳储量及碳汇研究进展[J].应用生态学报,2013,24(4):1153-1159.
[3] 杭子清,王国祥,刘金娥,等.互花米草盐沼土壤有机碳库组分及结构特征[J].生态学报,2014,34(15):4175-4182.
[4] 任继周,林慧龙.草地土壤有机碳储量模拟技术研究[J].草业学报,2013,22(6):280-294.
[5] 莫莉萍,周慧杰,刘云东,等.广西红树林湿地土壤有机碳储量估算[J].安徽农业科学,2015,43(15):81-84.
[6] 李 磊,李艳红,陈成贺日,等.1972—2011 年期间艾比湖面积变化研究[J].湿地科学,2014,12(2):263-268.
[7] 王勇辉,董玉洁,等.艾比湖湿地泥炭土壤养分特征分析[J].干旱地区农业研究,2015,33(5):186-192.
[8] 岳书平,张树文,闫业超,等.东北样带土地利用变化对生态服务价值的影响[J].地理学报,2007,62(8):879-886.

穴播联合机覆土性能工作参数优化,通过试验优化结果可得影响平均覆土合格率的因素由大到小依次为:作业机前进速度、刮板式土壤升运器倾角和刮板式土壤升运器线速度。

2) 建立了平均覆土合格率与作业机前进速度、刮板式土壤升运器倾角和刮板式土壤升运器线速度的二次多项式回归模型。以全膜覆土全部达标($\sigma_c = 100\%$)为目标,优化得到联合机最佳工作参数:作

业机前进速度为 $0.55\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、刮板式土壤升运器线速度为 $1.00\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、刮板式土壤升运器倾角为 40° 。

3) 田间验证试验表明,联合机平均覆土合格率可达 98.6% ,较优化前覆土作业性能有明显的提升,达到了旱地小麦全膜覆土穴播技术关于覆膜种床顶部覆土厚度的标准要求,表明优化后的工作参数组合可以作为旱地小麦全膜覆土穴播联合机田间覆土作业的最佳依据。



图 7 联合机田间性能试验
Fig.7 Field performance test of combined machine

参 考 文 献:

[1] 李 福,刘广才,李诚德,等.旱地小麦全膜覆土穴播技术的土壤水分效应[J].干旱地区农业研究,2013,31(4):73-78.

[2] 刘生学,张 静,刘广才,等.旱地小麦全膜覆土穴播技术高效施肥机理研究[J].干旱地区农业研究,2015,33(3):177-183.

[3] 郭振斌,刘广才,李诚德,等.旱地小麦全膜覆土穴播技术肥料效应研究[J].干旱地区农业研究,2014,32(4):163-168.

[4] 唐学鹏,赵武云,戴 飞,等.旱地小麦全膜覆土播种一体机的研制[J].干旱地区农业研究,2013,31(6):248-251.

[5] 赵立军,何 堤,周福君.2BF-1400 型水稻覆膜播种机覆土机构参数优化与试验[J].农业工程学报,2015,31(8):21-26.

[6] 史聚宝,李兴茂,孟治岳.小麦全膜覆土穴播技术存在的问题与对策[J].作物杂志,2014,(1):129-131.

[7] 李 福,刘广才,李诚德,等.甘肃省旱地小麦全膜覆土穴播栽培技术规程[J].甘肃农业科技,2012,(3):49-51.

[8] 戴 飞,赵武云,马明义,等.双垄耕作施肥喷药覆膜机工作参数优化[J].农业机械学报,2016,47(1):83-90.

[9] 贾洪雷,汲文峰,韩伟峰,等.旋耕-碎茬通用刀片结构参数优化试验[J].农业机械学报,2009,40(7):45-50.

[10] 黑龙江省农业机械运用研究所.NY/T 986-2006 铺膜机作业质量[S].北京:中国标准出版社,2006.

[11] 夏连明,王相友,耿端阳.倾斜圆台型玉米精密排种器种子破损试验[J].农业机械学报,2012,43(12):67-71.

[12] 袁 雪,祁力钧,王 虎,等.温室摇摆式变量弥雾机喷雾参数响应面法优化[J].农业机械学报,2012,43(4):45-50.

[13] 易军鹏,朱文学,马海乐,等.牡丹籽油超声波辅助提取工艺的响应面法优化[J].农业机械学报,2009,40(6):103-110.

(上接第 265 页)

[9] 杜 清,徐海量,张广鹏,等.叶尔羌河流域 1990-2010 年生态环境变化特征[J].干旱地区农业研究,2016,34(1):252-263.

[10] 白 元,徐海量,凌红波,等.塔里木河干流区土地利用与生态系统服务价值的变化[J].中国沙漠,2013,33(6):1912-1920.

[11] 王 棣,耿增超,余 雕,等.秦岭典型林分土壤活性有机碳及碳储量垂直分布特征[J].应用生态学报,2014,25(6):1569-1577.

[12] 孙慧兰,李卫红,杨余辉,等.伊犁山地不同海拔土壤有机碳的分布[J].地理科学,2012,32(5):603-608.

[13] 解宪丽,孙 波,周慧珍,等.中国土壤有机碳密度和储量的估算与空间分布分析[J].土壤学报,2004,4(1):35-43.

[14] 辛 琨,颜 葵,李 真,等.海南岛红树林湿地土壤有机碳分布规律及影响因素研究[J].土壤学报,2014,51(5):1079-1086.

[15] Schulze E D. Biological control of the terrestrial carbon sink[J]. Biogeosciences, 2006,3:147-166.

[16] Jobbagy E G, Jackson R B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation[J]. Ecological Applications, 2000,10:423-436.

[17] Amundson R. The carbon budget in soils[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2001,29:535-562.

[18] Lal R. Philosophical transactions of the royal society B[J]. Carbon Sequestration, 2008,363:815-830.

[19] 王 平,盛连喜,燕 红,等.植物功能性状与湿地生态系统土壤碳汇功能[J].生态学报,2010,30(24):6990-7000.