

燕金锐,律其鑫,高增平,等. 有机肥与生物炭对沙化土壤理化性质的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(9):303-307.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.09.070

有机肥与生物炭对沙化土壤理化性质的影响

燕金锐,律其鑫,高增平,卢文晓,崔亚男,王桂君

(长春师范大学城市与环境科学学院,吉林长春 130032)

摘要:为了探讨有机肥、生物炭配施对吉林省西部沙化土壤理化性质的影响,设置不施改良剂、单施有机肥、单施生物炭、低量生物炭+有机肥、高量生物炭+有机肥这5种处理,进行为期3年的大田试验。结果表明,改良剂的施加能够降低土壤容重,改善土壤持水性及团聚体结构的稳定性,提高土壤电导率、阳离子交换量和速效养分元素含量。不同处理间的效果存在差异,其中生物炭、有机肥联合施加对土壤各项理化性质的影响均明显高于单施处理的效果,以高量生物炭+有机肥处理效果最佳。单施生物炭对土壤阳离子交换量、总有机碳及速效钾含量的影响优于有机肥,单施有机肥对速效磷含量作用效应优于单施生物炭处理。

关键词:有机肥;生物炭;吉林西部;沙化土壤;理化性质

中图分类号: S156.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)09-0303-04

土地沙化是当前重要的生态环境问题之一,极大制约着土地的生产潜力^[1]。吉林省西部作为我国主要的沙化土地区,保水固肥条件较差,影响农业可持续发展^[2]。如何改善沙化土壤理化性质,提高土地生产力成为研究的热点。牲畜粪便堆肥所得到的有机肥在农业上应用广泛^[3],它可将自身发酵产生的养分元素直接释放到土壤中,提高土壤肥力^[4],降低土壤容重,改善土壤团聚体结构的稳定性^[5],影响 pH 值与阳离子交换量^[6],很好地维持地力。自亚马逊“黑土”被发现以来^[7],生物炭作为改良剂的作用得到认可^[8],它是含碳的生物残体在高温缺氧环境下不完全燃烧的产物,具有较大的比表面积,能够吸附土壤水分与营养物质^[9],改善土壤持水性,提高土壤阳离子交换量^[10],影响土壤团聚体结构的稳定性^[11]等。但因气候条件、受试土壤、制备原料等因素的差异,也存在一些负效应,如施加有机肥对作物的增产影响并不显著^[12],施加生物炭后玉米产量下降^[13]等。国内外学者关于有机肥或生物炭单独施加对土壤理化性质影响的研究已较为系统^[4-6,8-11],关于长期施加的影响机制研究也较成熟^[14-15],但对有机肥、生物炭联合施加的研究相对较少。仅少数研究表明,联合施加能够增强有机肥的效用,提高总有机碳含量^[16]。本试验通过设置不同的有机肥、生物炭联合比例,连续3年施加不同改良剂,分析沙化土壤物理、化学性质及其养分含量的年际变化,探讨有机肥、生物炭联合施加可能存在的协同作用,以期为沙化土壤的改良与利用提供理论依据和实践途径。

1 材料与方法

1.1 试验地点及材料

选取吉林省大安市舍力镇为试验点,该地东与大安市来福乡接壤,西、北与镇赉县相连,南临近大安市叉干乡,为轻中度沙化区,是吉林省沙化土地集中分布的区域之一,沙化面积约占全省沙化面积的21%,生态环境脆弱。该地属中温带半湿润半干旱气候过渡区,年均温度约为4.9℃,年均降水量为350~450 mm,降水集中在夏秋两季。受试土壤为淡黑钙土型风沙土,多分布在大安市南部、中部沙陇,质地细腻,呈碱性,pH值约为8.82,电导率约为98.84 μS/cm,总有机碳含量为3.69 g/kg,总氮含量为0.60 g/kg。试验所用有机肥由当地的牛粪堆肥发酵所得,其总有机碳含量为229.60 g/kg,总氮含量为24.50 g/kg。生物炭为沈阳农业大学生物炭研究所提供的玉米秸秆炭,其总有机碳含量为657.80 g/kg,总氮含量为9.20 g/kg。

1.2 试验方案

平整土地后将试验田划分为8 m×8 m的方形区域,各区域间设置1 m的隔离带以降低边缘效应,采用随机区组分布,共设置对照组(CK)、单施有机肥(CP)、单施生物炭(BC)、低浓度炭肥共施(BC₅+CP)、高浓度炭肥共施(BC₁₀+CP)5种处理(表1),每个处理3次重复,试验自2016年起连续开展3年。2016年(2016年)春耕期将受试土壤进行翻耕,称取相应质量的有机肥与生物炭施入各区,并用小型旋耕机旋耕3次,按常规耕作方式进行田间管理及收获,后2年(2017年和2018年)的处理方式与2016年相同。在作物生长的不同阶段,采用环刀取土,将土样带回实验室,测定土壤容重与田间持水量,另用土钻采用五点取样法取土样,混合均匀后取500 g左右标记并带回,待自然风干后用于土壤化学性质与养分含量的测定;于每年秋季作物收获前,采用环刀取土,采集的土样用于测定土壤团聚体结构的稳定性。各土壤参数分析所用的数据均使用该年内不同阶段数据的平均值表示。

收稿日期:2019-02-14

基金项目:吉林省教育厅“十二五”科学技术研究项目(编号:2015-366);国家级大学生创新创业训练计划(编号:201810205018)。

作者简介:燕金锐(1996—),女,吉林汪清人,主要从事环境生态学研究。E-mail:1806750616@qq.com。

通信作者:王桂君,博士,副教授,主要从事退化土壤修复研究。

E-mail:melan2002@163.com。

表 1 各处理改良剂的施加量

处理	有机肥含量 (t/hm ²)	生物炭含量 (t/hm ²)
CK	0	0
CP	20	0
BC	0	10
BC ₅ + CP	20	5
BC ₁₀ + CP	20	10

1.3 试验参数的测定

采用环刀法测定土壤容重与田间持水量;采用湿筛法测定土壤平均重量直径;采用 PHS-25 型酸度计测定土壤 pH 值;采用 DDS-307a 型电导率仪测定土壤电导率;采用乙酸铵交换法测定土壤阳离子交换量;采用重铬酸钾外加热法测定总有机碳含量;采用凯氏定氮法测定总氮含量;采用碱扩散法测定速效氮含量;采用碳酸氢钠提取-钼锑抗比色法测定速效磷含量;采用火焰光度法测定速效钾含量。

1.4 数据处理

用 Excel 2010 记录数据/绘制图表,运用 SPSS 19.0 对数据作单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 有机肥和生物炭对沙化土壤物理性质的影响

2.1.1 对土壤容重的影响 由表 2 可见,2016 年(第 1 年),各处理土壤容重均低于对照,其中 BC、BC₅ + CP 处理效果最

表 2 不同年份下各处理对土壤物理性质的影响

处理	容重(g/cm ³)			田间持水量(%)			平均重量直径(mm)		
	2016 年	2017 年	2018 年	2016 年	2017 年	2018 年	2016 年	2017 年	2018 年
CK	1.59aA	1.40bA	1.34bA	40.64aB	40.66aB	39.23bB	0.37bB	0.50aB	0.52aB
CP	1.55aAB	1.36bA	1.34bA	40.64aB	40.94aB	40.93aB	0.47aAB	0.52aB	0.56aB
BC	1.53aB	1.35bA	1.27bAB	40.80aB	40.69aB	40.90aB	0.44bAB	0.54aB	0.55aB
BC ₅ + CP	1.52aB	1.32bB	1.29bAB	41.18aB	41.91aB	41.37aB	0.48bAB	0.58aB	0.59aB
BC ₁₀ + CP	1.58aAB	1.39bA	1.21cB	43.35bA	44.79aA	43.56bA	0.53cA	0.64bA	0.83aA

注:不同小写字母表示同一处理不同年份间差异显著($P < 0.05$),不同大写字母表示同一年份不同处理间差异显著($P < 0.05$)。下表同。

2.2 有机肥和生物炭对沙化土壤化学性质的影响

2.2.1 对土壤 pH 值的影响 土壤 pH 值直接影响作物对养分的吸收程度。由表 3 中土壤 pH 值的数据来看,2016 年各处理对 pH 值的影响最小,与对照差异均不显著;在 2017 年,CP 处理的 pH 值与对照差异显著,CP 处理有效降低了沙化土壤的 pH 值;2018 年 BC₅ + CP 处理与对照差异显著($P < 0.05$)。总体上看,土壤 pH 值随着改良剂的施加呈现逐年降低的趋势,且含有机肥的处理效果更好,其原因可能是由于生物炭呈碱性,施入到碱性的沙化土壤中后会在一定程度上提高土壤 pH 值,使处理间差异不显著。

为明显,与对照间差异显著($P < 0.05$);2017 年(第 2 年),除 BC₅ + CP 处理土壤容重与对照间差异显著($P < 0.05$)外,其余处理与对照间均无显著差异;2018 年(第 3 年),仅 BC₁₀ + CP 处理的土壤容重显著低于对照。总体来看,3 年间各改良剂的施加对降低土壤容重均有一定的作用,且效果逐年递增。比较发现,在降低土壤容重的作用上,单施生物炭的处理效果要优于单施有机肥,且二者联合施加对降低土壤容重的效果更为突出。

2.1.2 对土壤田间持水量的影响 改良剂的施加影响土壤剖面结构,影响着土壤保持悬着水的量。如表 2 所示,3 年间土壤的田间持水量均以 BC₁₀ + CP 处理最高,且与对照差异显著($P < 0.05$),其余各处理与对照的差异均不显著。比较 3 年的数据发现,BC₅ + CP、BC₁₀ + CP 处理的效用优于 CP、BC 处理,可见有机肥与生物炭联合施加更有利于土壤蓄水能力的增强。

2.1.3 对土壤平均重量直径的影响 土壤平均重量直径是衡量团聚体稳定性的重要参数。从表 2 可知,3 年的土壤平均重量直径均以 BC₁₀ + CP 处理最高,且与对照差异显著,其余各处理与对照的差异均不显著。从年际变化上看,各处理均导致土壤平均重量直径逐年递增,除 CP 外其余各处理均在 2017 年与 2016 年相比差异显著,至 2018 年仅 BC₁₀ + CP 处理与 2017 年相比差异显著。由此可见,有机肥与生物炭联合施加有利于提高土壤团聚体结构的稳定性,且高浓度炭肥共施处理效果最佳。

2.2.2 对土壤电导率的影响 土壤电导率可反映土壤中离子含量的高低。如表 3 所示,3 年间土壤电导率均以 BC₅ + CP 和 BC₁₀ + CP2 组处理效果较佳,显著高于对照($P < 0.05$);各处理土壤电导率的年际变化均不显著,电导率随着时间的延长整体上呈递增趋势。综上所述,有机肥与生物炭的联合施加对土壤电导率的影响最为明显。

2.2.3 对土壤阳离子交换量的影响 土壤阳离子交换量反映了土壤缓冲性能的高低。由表 3 可知,除 CK 外其他处理的土壤阳离子交换量呈现逐年增加的趋势。不同年份各处理的效用不同,2016 年,与对照相比,除 CP 处理外其余各处理

表 3 不同处理对土壤化学性质的影响

处理	pH 值			电导率(μS/cm)			阳离子交换量(cmol/kg)		
	2016 年	2017 年	2018 年	2016 年	2017 年	2018 年	2016 年	2017 年	2018 年
CK	8.83aA	8.68aA	8.53aA	98.83aB	101.18aB	103.15aC	7.81aB	7.84aC	7.82aC
CP	8.83aA	8.53abB	8.43bAB	103.03aAB	107.09aAB	108.57aC	8.21aB	8.80aBC	9.24aB
BC	8.84aA	8.56abAB	8.52abA	101.77abA	105.56aB	116.46aBC	9.23bA	10.35abB	10.97aAB
BC ₅ + CP	8.81aA	8.64aA	8.40bB	119.96aA	124.03aA	126.67aB	9.26bA	10.21abB	11.24aA
BC ₁₀ + CP	8.82aA	8.56abAB	8.50abA	121.89aA	130.28aA	137.90aA	9.44bA	11.16abA	12.56aA

土壤阳离子交换量均显著提高;2017 年、2018 年 BC₅ + CP、BC₁₀ + CP、BC 处理与对照差异显著 ($P < 0.05$)。总体上看,BC₁₀ + CP 处理对土壤阳离子交换量的增效最佳,BC₅ + CP 处理效果次之,由此可得,有机肥与生物炭联合施加处理对提高土壤阳离子交换量的效果要优于任一改良剂单独施加处理。

2.3 有机肥和生物炭对土壤养分含量的影响

2.3.1 对土壤总有机碳与总氮含量的影响 从表 4 可以看出,除 2016 年的 CP 处理外,各处理均使土壤总有机碳含量提高。2016 年,BC、BC₁₀ + CP 处理与对照相比呈显著差异,CP 处理与对照相比无显著差异。后 2 年均以 BC₁₀ + CP 处理土壤总有机碳含量最高,与对照差异显著。从年际变化上看,有

机肥和生物炭单独或联合施加整体上使土壤总有机碳含量逐年递增,但联合施加的影响明显优于各单施处理,其中生物炭的作用效应比有机肥更为明显。

由表 4 可知,2016 年,各处理土壤总氮含量与对照间差异不显著;2017 年,BC₅ + CP、BC₁₀ + CP 处理的土壤总氮含量显著高于对照;2018 年,各改良剂施加处理的土壤总氮含量均显著高于对照,其中 BC₁₀ + CP 的处理效果最好。随着改良剂的连续施加,土壤总氮含量整体呈递增趋势,其中前 2 年改良剂的效果不明显,至 2018 年各改良剂处理与对照间差异显著,且以有机肥与生物炭联合施加的效果较佳。

表 4 不同处理对土壤总有机碳与总氮含量的影响

处理	总有机碳含量(g/kg)			总氮含量(g/kg)		
	2016 年	2017 年	2018 年	2016 年	2017 年	2018 年
CK	3.69aB	3.74aB	4.18aB	0.60aA	0.55aB	0.58aC
CP	3.52aB	4.33aB	4.85aB	0.55bA	0.60bB	0.70aB
BC	4.84aA	5.73aAB	6.87aAB	0.64bA	0.60bAB	0.70aB
BC ₅ + CP	4.18AB	5.95aAB	5.70aAB	0.60bA	0.75aA	0.72aB
BC ₁₀ + CP	4.83bA	7.22aA	7.75aA	0.60bA	0.71bA	0.92aA

2.3.2 对土壤速效氮、磷、钾含量的影响 由表 5 可见,2016 年,各处理间速效氮含量差异均不显著,且与对照相比,CP 处理土壤速效氮含量有所下降;2017 年,BC₅ + CP、BC₁₀ + CP 处理土壤速效氮含量与对照相比差异显著;2018 年,有机肥和生物炭联合施加处理的土壤速效氮含量与对照相比差异均显著。整体来看,土壤速效氮含量的年际变化趋势为先降后升,并且随着生物炭的施加与不断积累,对土壤速效氮含量的提升效果要优于单独施加有机肥的处理。

土壤速效磷含量反映了一定时间内土壤的供磷效率,如表 5 所示,3 年内 CP、BC₁₀ + CP 处理速效磷含量与对照相比差异显著;BC₅ + CP 处理效果仅在 2017 年、2018 年与对照相

比差异显著;BC 处理与对照差异均不显著。由此可见,有机肥对提高土壤速效磷含量的作用要优于生物炭。从年际变化上看,2017 年各处理土壤速效磷含量均明显呈增加的趋势,与速效氮含量的变化趋势正好相反,可能是受作物类型差异影响,对磷元素的吸收、固定与释放作用也有所不同。

由表 5 还可知,2016 年各处理间土壤速效钾含量差异均未达到显著水平;后 2 年各改良剂施加处理均与对照差异显著,其中,BC₁₀ + CP 处理对速效钾含量的增加作用最佳。由此可见,有机肥与生物炭联合施加对土壤速效钾含量的影响存在一定的协同作用,且生物炭对其影响效应强于有机肥。

表 5 不同处理对土壤速效氮、磷、钾含量的影响

处理	速效氮含量(mg/kg)			速效磷含量(mg/kg)			速效钾含量(mg/kg)		
	2016 年	2017 年	2018 年	2016 年	2017 年	2018 年	2016 年	2017 年	2018 年
CK	42.47bA	30.44cB	56.93aC	8.92bB	19.44aB	4.97bB	92.34aA	53.62bC	87.20aD
CP	41.79bA	32.93cB	67.69aB	10.17cA	26.24aA	16.35bA	92.45bA	78.14cB	145.46aC
BC	44.59bA	34.70cAB	63.33aB	9.77bAB	21.87aB	6.51cB	93.59bA	100.64bAB	184.63aB
BC ₅ + CP	43.11bA	36.06cA	70.25aAB	9.86cAB	26.68aA	16.81bA	94.34bA	100.64bAB	201.03aAB
BC ₁₀ + CP	44.00bA	37.71cA	81.10aA	11.64bA	26.04aA	20.49aA	94.40bA	107.24bA	238.73aA

3 讨论

Glaser 等指出,生物炭多微孔、黏性差,施入土壤后能增加土壤总孔隙度,降低容重^[17]。本试验中的受试土壤以细沙为主,其占比约为 64%,质地细腻,土壤容重较大。随着改良剂的连续施用,沙化土壤容重有所降低,其中以有机肥和生物炭联合施加效果最明显,单施生物炭的效果要优于单施有机肥,表明生物炭对土壤容重的影响比有机肥明显,这与 Chen 等的研究结果^[18]一致。Laird 等通过室内控制试验发现,生物炭的微孔结构能够增强土壤的保水潜能^[19],但本研究结果显示,与对照相比,单施生物炭的效果并不显著。与王改兰等认为的有机肥能够改善土壤吸水性能不同^[20],本试验结果同样显示单施有机肥的效果与对照间的差异也未达到显著水

平,这可能是由受试土壤结构性差异所致,有机肥和生物炭联合施加对土壤持水量的作用较为明显。生物炭具有较强的疏水性,但与有机肥联合施加则可以增加土壤的持水量和水分渗透性,表明二者联合施加能够有效增强土壤对水分的固持。Busscher 等认为,生物炭能够有效提高土壤通气性^[21];侯晓娜等指出,生物炭与秸秆共同添加利于改善团聚体的结构^[22]。姜灿烂等认为,连续施加有机肥利于红壤团聚体结构的形成^[23],但本试验发现,单施有机肥或生物炭对提高沙化土壤黏结性的作用并不显著,二者联合施加更利于土壤团聚体的形成与发育。

生物炭含较多的灰分,溶于水后碱性增强^[24],它的惰性也不利于产生酸性的中间分解物^[25],Dinesh 等发现有机肥能较好地降低土壤碱性^[3],与战秀梅等的结论^[26]一致,原因可

能是弱酸性的有机肥削弱了生物炭的碱性,联合施加能够有效降低土壤 pH 值,且比单施处理效果显著。土壤电导率与阳离子交换量也能够直观体现土壤对水溶性盐的保持能力。生物炭具有一COOH 及—OH 等离子官能团^[27],能有效增加土壤带电量^[28],利于养分离子的积累与活性的增强^[29]。本研究结果显示,各处理土壤电导率与阳离子交换量整体上逐年提高,有机肥和生物炭联合施加处理的效用与单施处理差异明显,且高浓度炭肥施加处理更利于阳离子的吸附与保持。与刘国伟的研究结果^[30]不同,本研究结果显示,单施有机肥并未明显提高土壤阳离子交换量,这也表明在联合施加过程中,对阳离子交换量的作用可能以生物炭为主导。

生物炭本身具有较高的碳含量^[11],其微孔结构的吸附力也能够将碳固定在土壤中,成为碳封存媒介^[31],Celik 等研究发现,施加牲畜粪便堆肥后土壤总有机碳含量变化并不显著^[32]。本研究发现,随着改良剂连续施加,各处理总有机碳含量均呈现提高的趋势,其中以含生物炭的处理效果显著,可见生物炭对土壤总有机碳的作用效果优于有机肥。生物炭的施加能够抑制土壤中氮素的淋失^[33],有机肥也能够对氮素进行有效补偿^[4],从而提高了土壤氮素含量。Mia 等研究也指出,土壤速效钾的含量变化趋势与氮素含量呈正相关^[34]。单施生物炭和与有机肥联合施加对土壤速效钾含量的作用均高于单施有机肥,且随改良剂的连续施加,钾元素在沙化土壤中的积累效果更加显著,因此可知,生物炭的施加可以有效提高土壤速效钾含量。宁川川等指出,有机肥可以活化土壤本身的磷^[6],刘赛男通过长期试验发现,生物炭能够通过改善土壤微生物群落结构,影响对磷元素的吸收与释放^[35]。从土壤速效磷含量的变化趋势看出,各处理均可使土壤中速效磷的含量提高,且以二者联合施加效果最为明显,单施有机肥的效果次之,可见有机肥利于土壤中磷元素的积累。综合来看,有机肥与生物炭联合施加能够提高作物对氮、磷、钾元素的利用性,效果优于单施处理,表明有机肥可以弥补生物炭本身的养分亏缺,生物炭则可以有效减少有机肥中所含养分的淋失,二者具有一定的协同作用。

4 结论

有机肥和生物炭对沙化土壤的理化性质产生显著效应,二者联合施加的效用较任一单施处理明显,且在一定程度内,生物炭施加比例较高时二者的协同作用更明显,能够有效降低土壤容重,增加土壤持水量,改善土壤结构,提高阳离子交换量等,有机肥也能够较好地弥补生物炭养分含量缺乏的不足,改善土壤各项肥力指标,提高土壤对氮、磷、钾元素的吸收效率。同时,有机肥对土壤速效氮、磷含量的作用较生物炭明显,生物炭对提高土壤阳离子交换量、速效钾含量的作用优于有机肥。由于受试作物类型,生物炭、有机肥的性质等均会影响改良剂的效果,因此仍需针对不同作物、不同改良剂继续进行相关试验,探讨二者对退化土壤的联合作用过程及影响机制。

参考文献:

[1]王涛,陈广庭,赵哈林,等. 中国北方沙漠化过程及其防治研究的新进展[J]. 中国沙漠,2006(4):507-516.

- [2]刘惠清,许嘉巍,吕新苗. 吉林省西部土地沙化动态变化[J]. 地理研究,2004(2):249-256.
- [3]Dinesh R, Srinivasan V, Hamza S, et al. Short-term incorporation of organic manures and biofertilizer influences biochemical and microbial characteristics of soils under an annual crop [Turmeric (*Curcuma longa* L.)] [J]. Bioresource Technology, 2010, 101(12):4697-4702.
- [4]Abiven S, Menasseri S, Chenu C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability—a literature analysis[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 41(1):1-12.
- [5]赵红,袁培民,吕贻忠,等. 施用有机肥对土壤团聚体稳定性的影响[J]. 土壤, 2011, 43(2):306-311.
- [6]宁川川,王建武,蔡昆争. 有机肥对土壤肥力和土壤环境质量的影响研究进展[J]. 生态环境学报, 2016, 25(1):175-181.
- [7]Bruno G. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 2007, 362(1478):187-196.
- [8]张千丰,王光华. 生物炭理化性质及对土壤改良效果的研究进展[J]. 土壤与作物, 2012, 1(4):219-226.
- [9]Asai H, Samson B K, Stephan H M, et al. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield [J]. Field Crops Research, 2008, 111(1/2):81-84.
- [10]张文玲,李桂花,高卫东. 生物炭对土壤性状和作物产量的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(17):153-157.
- [11]武玉,徐刚,吕迎春,等. 生物炭对土壤理化性质影响的研究进展[J]. 地球科学进展, 2014, 29(1):68-79.
- [12]Seufert V, Ramankutty N, Foley J A. Comparing the yields of organic and conventional agriculture[J]. Nature, 2012, 485(7397):229-232.
- [13]Rondon M A, Lehmann J, Ramírez J, et al. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions [J]. Biology and Fertility of Soils, 2007, 43(6):699-708.
- [14]王桂君. 生物炭和有机肥对松嫩平原沙化土壤的改良效应及其机制研究[D]. 长春:东北师范大学, 2018.
- [15]Ippolito J A, Stromberger M E, Lentz R D, et al. Hardwood biochar and manure co-application to a calcareous soil [J]. Chemosphere, 2016, 142:84-91.
- [16]何绪生,张树清,余雕,等. 生物炭对土壤肥料的作用及未来研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(15):16-25.
- [17]Glaser B, Lehmann J, Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review [J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35(4):219-230.
- [18]Chen Y, Shinogi Y, Taira M. Influence of biochar use on sugarcane growth, soil parameters, and groundwater quality [J]. Australian Journal of Soil Research, 2010, 48(7):526-530.
- [19]Laird D A, Fleming P, Davis D D, et al. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil [J]. Geoderma, 2010, 158(3/4):443-449.
- [20]王改兰,段建南,贾宁凤,等. 长期施肥对黄土丘陵区土壤理化性质的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4):82-85, 89.
- [21]Busscher W J, Novak J M, Evans D E, et al. Influence of pecan biochar on physical properties of a Norfolk loamy sand [J]. Soil Science 2010, 175(1):11-14.

赵先超,宋丽美,古黄玲. 基于 GIS 的湖南省农地利用碳排放时空格局研究[J]. 江苏农业科学,2019,47(9):307-311.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.09.071

基于 GIS 的湖南省农地利用碳排放时空格局研究

赵先超,宋丽美,古黄玲

(湖南工业大学城市与环境学院,湖南株洲 412007)

摘要:基于化肥、农药、农膜、灌溉、翻耕、柴油等 6 类农地利用碳排放源,测算 1999—2014 年湖南省农地利用碳排放量和碳排放强度,分析湖南省农地利用碳排放时序特征,并基于 GIS 研究湖南省农地利用碳排放量、碳排放强度的空间格局。结果表明:(1)1999—2014 年,湖南省农地利用碳排放量和碳排放强度均呈现逐年增长趋势,碳排放量从 1999 年的 317.40 万 t 增加到 2014 年的 446.99 万 t,碳排放强度从 1999 年的 987.79 kg/hm² 增加到 2016 年的 1 076.26 kg/hm²;(2)湖南省农地利用碳排放量和碳排放强度在空间上均呈现“东高西低”的特征,且集聚效应明显,2 个年份排名前五的碳排放量总和分别占全省碳排放总量的 54.34% 和 53.64%;(3)2010 年和 2014 年,湖南省农地利用碳排放量与农业经济水平在空间格局分布上重合率达到 100%,二者有着直接的影响关系。

关键词:农地利用碳排放;时空格局;GIS;湖南省

中图分类号: S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)09-0307-05

近 50 年来,我国经历了与全球基本相一致的气候变暖过程,我国气温增暖要明显高于全球或北半球同期平均水平^[1]。而近年来的众多研究表明,二氧化碳排放量的增加是全球气候变暖的主要根源。从我国来看,在诸多碳排放源中,农业生产产生的温室气体达到全国总量的 17%,已成为引发

收稿日期:2018-01-04

基金项目:湖南省社科基金(编号:17JD25);教育部人文社科规划基金(编号:17YJCZH258);湖南省社科评审委课题(编号:XSP17YBZZ032);湖南省教育厅重点项目(编号:17A059)。

作者简介:赵先超(1983—),男,山东郓城人,博士,副教授,主要从事资源开发与区域低碳发展方面的研究。E-mail:zhaoxianchao1983@163.com。

碳排放的主要来源之一;从湖南省来看,1961—2010 年,湖南省年平均气温增暖趋势较为显著,年平均气温存在着明显的上升趋势,年平均气温上升速率为 0.015 3 ℃/年^[2]。在此背景下,削减区域碳排放、谋求区域低碳转型发展,以及从土地利用角度开展碳排放研究、全面了解人类活动对碳排放的影响机制、引导区域低碳转型发展等问题已经引起了各国政府和学术界的普遍关注。从整体上看,国内外相关研究成果主要集中在人类活动对全球碳循环的影响^[3]、碳排放的构成^[4-7]、碳排放与经济增长的关系^[8-11]、土地利用下的碳排放效率研究^[12]等方面。

农业作为关乎国计民生的重大基础性产业必须实现传统产业的转型升级,农业碳减排对于现代农业的发展具有至关

[22]侯晓娜,李慧,朱刘兵,等. 生物炭与秸秆添加对砂姜黑土团聚体组成和有机碳分布的影响[J]. 中国农业科学,2015,48(4):705-712.

[23]姜灿烂,何园球,刘晓利,等. 长期施用有机肥对旱地红壤团聚体结构与稳定性的影响[J]. 土壤学报,2010,47(4):715-722.

[24]谢祖彬,刘琦,许燕萍,等. 生物炭研究进展及其研究方向[J]. 土壤,2011,43(6):857-861.

[25]Kimetu J M,Lehmann J. Stability and stabilization of biochar and green manure in soil with different organic carbon contents[J]. Australian Journal of Soil Research,2010,48(7):577-585.

[26]战秀梅,彭靖,王月,等. 生物炭及炭基肥改良棕壤理化性状及提高花生产量的作用[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(6):1633-1641.

[27]Cheng C H,Lehmann J,Thies J E et al. Oxidation of blackcarbon by biotic and abiotic processes[J]. Organic Geochemistry,2006,37(11):1477-1488.

[28]Lee J W,Hawkins B,Li X N,et al. Biochar fertilizer for soil amendment and carbon sequestration[M]//Lee J W. Advanced biofuels & bioproducts. New York:Springer,2013:57-68.

[29]Fischer D,Glaser B. Synergisms between compost and biochar for

sustainable soil amelioration[M/OL]//Kumar S. Management of organic waste. [2019-01-01]. <https://www.intechopen.com/books/management-of-organic-waste/synergism-between-biochar-and-compost-for-sustainable-soil-amelioration>.

[30]刘国伟. 长期施用生物有机肥对土壤理化性质影响的研究[D]. 北京:中国农业大学,2004.

[31]张哈芝,黄云,刘钢,等. 生物炭对玉米苗期生长、养分吸收及土壤化学性状的影响[J]. 生态环境学报,2010,19(11):2713-2717.

[32]Celik I,Ortas I,Kilic S. Effects of compost,mycorrhiza,manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil[J]. Soil & Tillage Research,2004,78(1):59-67.

[33]周志红,李心清,邢英,等. 生物炭对土壤氮素淋失的抑制作用[J]. 地球与环境,2011,39(2):278-284.

[34]Mia S,Groenigen J W,Voorde T F,et al. Biochar application rate affects biological nitrogen fixation in red clover conditional on potassium availability[J]. Agriculture Ecosystems & Environment,2014,191:83-91.

[35]刘赛男. 生物炭影响土壤磷素、钾素有效性的微生态机制[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2016.