

孟春梅,王开勇,张开祥,等. 棉粕对不同类型盐渍化土壤团聚体中碳氮含量的影响[J].江苏农业学报,2019,35(2):307-312.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2019.02.010

棉粕对不同类型盐渍化土壤团聚体中碳氮含量的影响

孟春梅, 王开勇, 张开祥, 马宏秀, 李宗飞

(石河子大学农学院,新疆 石河子 832000)

摘要: 盐渍化导致土壤中养分流失、土壤结构被破坏,是阻碍新疆绿洲农业向前发展的一个主要原因。本研究采用田间试验和室内分析相结合的方法,研究棉粕对不同类型盐渍化(NaCl 盐渍化、 Na_2CO_3 盐渍化)土壤团聚体碳氮含量的影响,并通过测定土壤中各粒级团聚体中碳氮含量探究其变化。结果表明:小粒级团聚体($<0.25\text{ mm}$ 、 $0.25\sim2.00\text{ mm}$)中有机碳含量高于大粒级($2.01\sim5.00\text{ mm}$)团聚体中碳含量,全氮含量则相反。两种盐渍化土壤施入棉粕后可以减少 $2.01\sim5.00\text{ mm}$ 大粒级团聚体比例,增加小粒级团聚体比例,不同含量氯化钠盐渍化+棉粕处理的土壤团聚体中碳氮含量增加幅度大于不同含量碳酸钠盐渍化+棉粕处理,小粒级团聚体中有机碳含量和大粒级团聚体中全氮含量是影响盐渍化壤养分的主要因子。

关键字: 棉粕; 盐渍化土壤; 碳氮含量; 团聚体

中图分类号: S156.4⁺4

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2019)02-0307-06

Effect of cottonseed meal on carbon and nitrogen contents in different types of salt-affected soil aggregates

MENG Chun-mei, WANG Kai-yong, ZHANG Kai-xiang, MA Hong-xiu, LI Zong-fei

(College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi 832000, China)

Abstract: Salinization leads to loss of nutrients in soil and destruction of soil structure, which is one of the main reasons hindering the development of oasis agriculture in Xinjiang. In this study, the combination of field experiment and laboratory analysis was used to study the effects of cottonseed meal on carbon and nitrogen contents in different types of salt-affected soil aggregates (NaCl salinization and Na_2CO_3 salinization), and to explore the changes of carbon and nitrogen contents in soil aggregates with different size. The results showed that the content of organic carbon in small size aggregates ($<0.25\text{ mm}$, $0.25\sim2.00\text{ mm}$) was higher than that in large size aggregates ($2.01\sim5.00\text{ mm}$), while the content of total nitrogen was opposite. The application of cottonseed meal in two salinized soils could reduce the proportion of large-sized aggregates of $2.01\sim5.00\text{ mm}$ and increase the proportion of small-sized aggregates. The increase of carbon and nitrogen contents in soil aggregates treated with different content of sodium chloride salinization and cottonseed meal was greater than that treated with different content of sodium carbonate salinization and cottonseed meal. The content of organic carbon in

small-sized aggregates and the total nitrogen content in large-sized aggregates are the main factors affecting the nutrients in saline soils.

Key words: cottonseed meal; saline soil; carbon and nitrogen contents; aggregates

收稿日期:2017-09-21

基金项目:国家自然科学基金项目(31560169);国家国际科技合作专项(2015DFA11660);国家科技支撑计划项目(2014BAC14B030-2);石河子大学项目(ZZZC201619)

作者简介:孟春梅(1995-),女,新疆阿克苏人,硕士研究生,从事土壤环境与生态安全研究。(E-mail)253531987@qq.com

通讯作者:王开勇,(E-mail)wky20@163.com

作为西北地区的农用地储备区的新疆,盐渍

化土地分布较广且种类多,其中农用灌区内高达32%的土地属于盐渍化土地^[1],由于新疆特有的地理、气候、灌溉方式、人为活动和水资源条件的限制等因素导致新疆次生盐渍化土地面积不断增加,从而阻碍了新疆农业的发展进度,这也使得更多研究者关注新疆盐渍化改良与治理工作^[2]。用生物改良剂进行盐渍化土壤改良已经成为近些年来关注的热点,土壤盐渍化改良中土壤生物改良剂包括棉粕、葵粕等粕类。新疆作为中国最大的商品棉基地,棉花产量不断增长的同时带动了棉粕数量的稳定增加^[3]。棉粕现主要用于饲料,但由于棉粕中营养构成不均衡及抗营养因子而限制其使用^[4],棉粕作为棉花的一部分可作有机肥施入盐渍化土壤,改善土壤结构并对其碳氮含量变化产生一定影响,从而影响农作物根系的生长环境。有机质是土壤团聚体形成的重要媒介,不同土壤粒级团聚体在养分的吸收与转换能力上也是不同的^[5]。

很多学者都对不同物质改良盐碱土壤进行了大量研究^[6-14]。潘保原等对酒糟改良盐碱土壤进行了研究,指出施用酒糟可以很好地改良盐渍化土壤,降低碱地的土壤pH值,增加碳氮含量及降低土壤碱化度,1 hm²盐碱地只需60 t废弃酒糟就可改良成土质疏松,庄稼长势好的良田。施用不同的改良剂均可以使盐渍化土壤理化性质有所改善,施用有机肥进行改良可以使土壤中有机质含量相应提高^[15]。由于不同地域及不同利用方式而导致土壤有机碳、全氮在团聚体中分布存在一定差异,有机碳、全氮含量随团聚体粒径的增大而减小,大团聚体中有机碳、全氮含量显著低于微团聚体^[5,16]。通过田间小区试验,模拟盐渍化土壤,系统研究棉粕对不同类型盐渍化土壤团聚体碳氮含量的影响对于改良盐渍化土壤,更好地利用盐渍化土壤资源具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于2016年在石河子大学农学院试验站(44°18'42.37"N, 86°08'20.72"E)进行,试验土壤为灌溉灰漠土,土壤质地为重壤,耕层土壤基础理化性质为pH 7.76,阳离子交换量(CEC) 16.25 cmol/kg、有机碳 7.70 g/kg、全氮 0.76 g/kg、碱解氮 0.06 g/kg、速效磷 0.02 g/kg、速效钾 0.25 g/kg。

改良剂棉粕的常规养分含量^[17]为:干物质 90.00%、粗纤维 10.50%、无氮浸出物 28.90%、粗灰分 6.00%、总磷 1.04%、有效磷 0.26%、钾 1.16%、镁 0.40%、铁 263.00 mg/kg、铜 14.00 mg/kg、锌 55.50 mg/kg、锰 18.70 mg/kg、硒 0.15 mg/kg。

1.2 试验设计

试验共设7个处理,分别为:对照(CK,常规施肥)、低盐+棉粕处理(LNZ, NaCl 4 g/kg+棉粕1 500 g/kg)、中盐+棉粕处理(MNZ, NaCl 8 g/kg+棉粕3 000 kg/km²)、高盐+棉粕处理(HNZ, NaCl 12 kg/km²+棉粕6 000 kg/km²)、低碱+棉粕处理(LNJ, Na₂CO₃ 4 g/kg+棉粕1 500 kg/km²)、中碱+棉粕处理(MNJ, Na₂CO₃ 8 g/kg+棉粕3 000 kg/km²)、高碱+棉粕处理(HNJ, Na₂CO₃ 12 g/kg+棉粕6 000 kg/km²)。每小区的土壤质量为0~20.0 cm土层的土壤质量。供试作物为棉花,在试验的前一年用NaCl和Na₂CO₃对试验区土壤预先进行盐渍化处理,棉花播种前30 d将棉粕均匀撒施于土壤中并进行翻埋,提前腐熟。试验小区面积5 m²,小区间距1.5 m,每个处理重复3次,共21个小区。试验采用滴灌模式,一膜两管四行,膜距40 cm,行距20 cm。化学肥料按氮(N) 300 kg/km²、磷(P₂O₅) 225 kg/km²、钾(K₂O) 135 kg/km²于播种前作为基肥一次性施入(常规施肥),4月30日播种,10月2日收获。

1.3 样品采集

于棉花收获期分别采集0~20.0 cm、20.1~40.0 cm土层原状土样,每个小区采3点混合,置于塑料盒中,带回室内自然风干,用于碳氮养分含量测定。在取土和运输过程中尽量减少对土样不必要的搬动,以免破坏土壤团聚体。室内沿自然纹路轻轻掰成小土块,除去新生体及动植物残体后自然风干^[18],然后采用干筛法分离出<0.25 mm、0.25~2.00 mm、2.01~5.00不同粒级团聚体,测定各土层不同粒级团聚体所占比例以及不同粒级团聚体中全氮和有机碳含量。

1.4 指标测定方法

土壤有机碳含量测定采用重铬酸钾容量法-外加热法^[19];土壤全氮含量测定采用H₂SO₄-H₂O₂消煮,凯氏法^[19]。

2 结果与分析

2.1 棉粕对不同盐渍化土壤中团聚体组成的影响

由表1可知两种盐渍化土壤施入棉粕后均可使大粒级团聚体(2.01~5.00 mm)减少,小粒级团聚体

(<0.25 mm、0.25~2.00 mm)增加。这说明施用棉粕可使有利于养分储存的粒级团聚体比例增加,使大粒级团聚体比例下降。碳酸钠+棉粕处理相对于氯化钠+棉粕处理,各粒级团聚体变化不明显,尤其是2.01~5.00 mm 团聚体变化不大。

表1 棉粕对不同盐渍化土壤中团聚体组成的影响

Table 1 Effect of cottonseed meal on aggregate composition in different saline soils

土层(cm)	团聚体(mm)	CK	LNZ	MNZ	HNZ	LNJ	MNJ	HNJ
0~20.0	<0.25	3.26cd	11.88a	9.60ab	12.80a	5.74c	8.46b	2.15d
	0.25~2.00	36.79b	51.79a	42.07b	38.94ab	35.88b	43.28b	38.71ab
	2.01~5.00	59.31a	35.31c	47.33b	47.89b	57.74a	47.69b	58.34a
20.1~40.0	<0.25	2.56cd	9.72b	12.38a	10.97a	5.63c	1.58d	2.18cd
	0.25~2.00	39.04b	48.08a	40.82b	47.66a	37.25b	28.52c	39.34b
	2.01~5.00	58.00a	46.16b	46.17b	40.78c	57.50a	42.98bc	59.30a

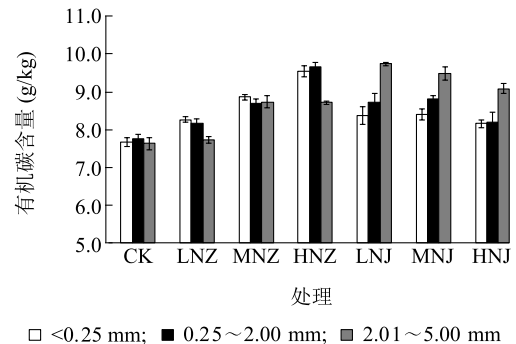
CK、LNZ、MNZ、HNZ、LNJ、MNJ、HNJ 分别为对照(常规施肥)、低盐+棉粕处理(NaCl 4 g/kg+棉粕1 500 g/kg)、中盐+棉粕处理(NaCl 8 g/kg+棉粕3 000 kg/km²)、高盐+棉粕处理(NaCl 12 kg/km²+棉粕6 000 kg/km²)、低碱+棉粕处理(Na₂CO₃ 4 g/kg+棉粕1 500 kg/km²)、中碱+棉粕处理(Na₂CO₃ 8 g/kg+棉粕3 000 kg/km²)、高碱+棉粕处理(Na₂CO₃ 12 g/kg+棉粕6 000 kg/km²)。不同小写字母表示同一粒级团聚体在不同处理间差异达0.05显著水平。

2.2 棉粕对不同盐渍化土壤团聚体中有机碳含量的影响

由图1和图2可知,在0~20.0 cm 土层中,高盐+棉粕处理下小粒级团聚体中有机碳含量高于高碱+棉粕处理,最大差值达到1.51 g/kg,比对照增加21.10%,低碱+棉粕处理各粒级团聚体中有机碳含量均高于低盐+棉粕处理。这说明棉粕对高含量氯化钠盐渍化土壤有机碳含量的影响大于高含量碳酸钠盐渍化土壤,而棉粕对低含量碳酸钠盐渍化土壤有机碳含量的影响大于低含量氯化钠盐渍化土壤。低碱+棉粕处理、中碱+棉粕处理、高碱+棉粕处理间小粒级团聚体中有机碳含量差异不显著。20.1~40.0 cm 土层土壤团聚体中有机碳含量分布规律与0~20.0 cm 土层基本一致,但有机碳含量高于0~20.0 cm 土层。

2.3 棉粕对不同盐渍化土壤团聚体中全氮含量的影响

由图3和图4可见,低盐+棉粕处理、中盐+棉粕处理、高盐+棉粕处理间各粒级团聚体中全氮含量有所差异,各粒级团聚体中全氮含量随土壤粒级增加而增加,2.01~5.00 mm 粒级团聚体中全氮含量最高。各粒级团聚体中全氮含量在低碱+棉粕处理、中碱+棉粕处理、高碱+棉粕处理间相差不大。不同含量盐+棉粕处理各粒级团聚体中全氮含量高



CK、LNZ、MNZ、HNZ、LNJ、MNJ、HNJ 见表1注。

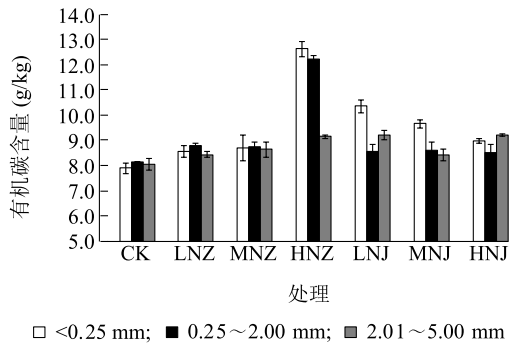
图1 棉粕对不同盐渍化土壤0~20.0 cm 土层土壤团聚体中有机碳含量的影响

Fig.1 Effects of cottonseed meal on the content of organic carbon in soil aggregates from different saline soils in 0~20.0 cm soil layer

于不同含量碱+棉粕处理,最大差值达到0.12 g/kg。0~20.0 cm 土层各粒级团聚体中全氮含量低于20.1~40.0 cm 土层。各粒级团聚体中全氮含量的分布规律与有机碳分布规律有一致的地方也有差异的地方,不同粒级中有机碳含量存在差异,全氮含量也必然存在差异^[20]。

2.4 不同盐渍化土壤施用棉粕后团聚体各指标主成分分析

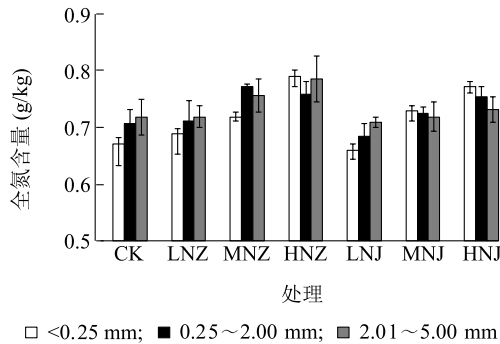
主成分分析和聚类分析是在多种领域中经常采



CK、LNZ、MNZ、HNZ、LNJ、MNJ、HNJ 见表 1 注。

图 2 棉粕对不同盐渍化土壤 20.1~40.0 cm 土层土壤团聚体中有机碳含量的影响

Fig.2 Effects of cottonseed meal on the content of organic carbon in soil aggregates from different saline soils in 20.1–40.0 cm soil layer

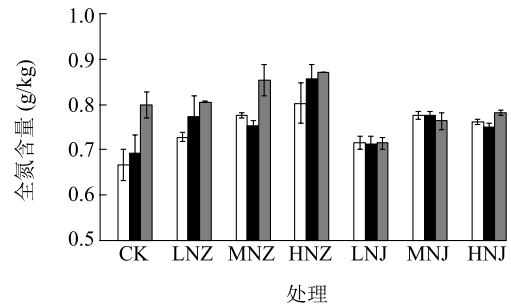


CK、LNZ、MNZ、HNZ、LNJ、MNJ、HNJ 见表 1 注。

图 3 棉粕对不同盐渍化土壤 0~20.0 cm 土层土壤团聚体中全氮含量的影响

Fig.3 Effects of cottonseed meal on the content of total nitrogen in soil aggregates from different saline soils in 0–20.0 cm soil layer

用的多个变量间相关性的多元统计方法,从而更好地反应事物的本质和进行分类^[21-22]。由图 5、图 6 可知 0~20.0 cm 和 20.1~40.0 cm 土层不同盐碱+棉粕处理土壤团聚体指标的主成分 1(PC1) 及主成分 2(PC2) 的总方差之和分别为 77.00% 和 75.07%,基本能反应大部分盐碱+棉粕处理团聚体指标大部分信息。由图 5 可知在 0~20.0 cm 土层中对照、低碱+棉粕处理和高碱+棉粕处理归为一类,中碱+棉粕处理、中盐+棉粕处理归为一类,高盐+棉粕处理归为一类,低盐+棉粕处理归为一类。由图 6 可知,在 20.1~40.0 cm 土层中高盐+棉粕处理为一类,低碱+棉粕处理、中碱+棉粕处理、高碱+棉粕处理处理归为一类,对照归为一类,低盐+棉粕处理及中盐+棉

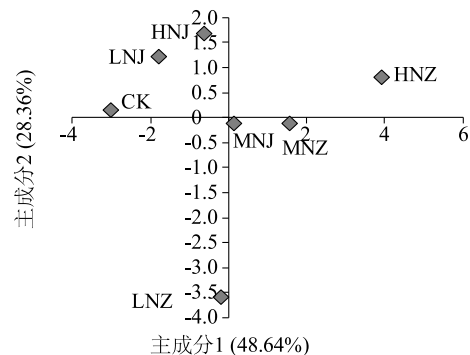


CK、LNZ、MNZ、HNZ、LNJ、MNJ、HNJ 见表 1 注。

图 4 棉粕对不同盐渍化土壤 20.1~40.0 cm 土层土壤团聚体中全氮含量的影响

Fig.4 Effects of cottonseed meal on the content of total nitrogen in soil aggregates from different saline soils in 20.1–40.0 cm soil layer

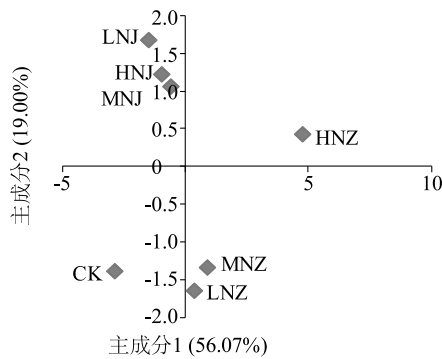
粕处理归为一类。不同土层团聚体指标间的相关关系(表 2)可知,在 0~20.0 cm 土层中,PC1 与<0.25 mm 粒级团聚体中有机碳含量、0.25~2.00 mm 粒级团聚体中有机碳含量及 2.01~5.00 mm 粒级团聚体中全氮含量呈极显著正相关($P<0.01$),与<0.25 mm 团聚体含量、<0.25 mm 粒级团聚体中全氮含量、0.25~2.00 mm 粒级团聚体中全氮含量呈显著正相关,PC2 与大部分指标的相关性呈现不显著。20.1~40.0 cm 土层土壤团聚体指标的主成分分析结果与 0~20.0 cm 土层基本一致,这说明在不同盐碱+棉粕处理下小团聚体(<2.00 mm)对碳养分的吸附保持能力以及大团聚体(2.01~5.00 mm)对氮素养分的吸附保持能力是影响土壤性质主要因子。



CK、LNZ、MNZ、HNZ、LNJ、MNJ、HNJ 见表 1 注。

图 5 0~20.0 cm 土层不同盐渍化土壤施用棉粕后团聚体各指标主成分分析

Fig.5 Principal component analysis of aggregate indices after application of cottonseed meal in different salinized soils in 0–20.0 cm soil layer



CK、LNZ、MNZ、HNZ、LNJ、MNJ、HNJ 见表 1 注。

图 6 20.1~40.0 cm 土层不同盐渍化土壤施用棉粕后团聚体各指标主成分分析

Fig.6 Principal component analysis of aggregate indices after application of cottonseed meal in different salinized soils in 20.1~40.0 cm soil layer

表 2 不同土层团聚体各指标间的相关关系

Table 2 Correlation among various indicators of agglomerates in different soil layers

指 标	0~20.0 cm 土层		20.1~40.0 cm 土层	
	主成分 1 (PC1)	主成分 2 (PC2)	主成分 1 (PC1)	主成分 2 (PC2)
<0.25 mm 团聚体含量	0.76 *	-0.55	0.71 *	-0.46
0.25~2.00 mm 团聚体含量	0.20	-0.92 **	0.56	-0.48
2.01~5.00 mm 团聚体含量	-0.49	0.86 **	-0.76 *	0.19
<0.25 mm 团聚体中有机碳含量	0.95 **	0.13	0.77 *	0.53
0.25~2.00 mm 团聚体中有机碳含量	0.85 **	0.28	0.92 **	0.12
2.01~5.00 mm 团聚体中有机碳含量	0.14	0.62	0.41	0.71 *
<0.25 mm 团聚体中全氮含量	0.75 *	0.34	0.79 *	0.32
0.25~2.00 mm 团聚体中全氮含量	0.72 *	0.21	0.94 **	0.10
2.01~5.00 mm 团聚体中全氮含量	0.90 **	0.20	0.72 *	-0.56

* 表示在 0.05 水平上指标与主成分相关性显著; ** 表示在 0.01 水平上指标与主成分相关性显著。

3 讨 论

生物有机物质输入土壤,可以增加形成团聚体的重要胶结物质的数量^[23],从而使得土壤团聚体结构状况得到改善。王双磊^[24]等研究发现棉花秸秆还田 3 年后,可使土壤中大团聚体含量明显提高,

使<0.25 mm 微团聚体含量有所下降,使得农田土壤中小团聚体由于有机物质的胶结作用向大团聚体转化,促进了农田土壤结构的改善。然而本研究结果表明,棉粕施入氯化钠盐渍化棉田可使 2.01~5.00 mm 粒级大团聚体含量下降,而棉粕施入碳酸钠盐渍化棉田 2.01~5.00 mm 粒级大团聚体含量无明显变化,且<0.25 mm、0.25~2.00 mm 粒级土壤团聚体含量在盐+棉粕处理和碱+棉粕处理下均基本增加,其原因可能是氯化钠和碳酸钠对土壤颗粒的分散作用较强,而棉粕作为有机物质其胶结作用较小,导致与其他研究者的结果有所差异。

不同粒级的团聚体对土壤中碳氮的供给转化能力不同^[25]。研究结果表明随着土壤粒级的递减,其团聚体中有机碳含量递增^[26],而<0.053 mm 粒径中有机碳含量则最低^[27]。其原因或许与土壤本身的差异性有关,土壤中胶结物数量差异导致团聚体形成的差异。普遍认为有机质含量较高而黏粒和氧化铁铝含量较低的土壤中,有机质则在团聚体形成中占主导地位,相反则主要靠黏粒的内聚力及铁铝氧化物的胶结作用^[28-30]。本试验结果表明,高盐+棉粕处理的小粒级团聚体中有机碳的含量最高,大粒级团聚体中最低,而在碱+棉粕处理中,随着土壤粒级的增加,团聚体中有机碳含量也随之增加,其原因可能是在碱+棉粕处理中,有机物质施入土壤后,碳元素易被大团聚体固持^[31]。本研究显示 20.1~40.0 cm 土层土壤团聚体中有机碳含量高于 0~20.0 cm 耕作层,这与张萌^[32]的研究结果相反,其原因可能由于土壤中盐碱表聚^[33]和施入棉粕时的翻耕作用,有机质下移。目前,对于施入有机物质后对土壤团聚体中全氮含量分布的研究较少,有研究表明,随着生物碳施入量的增加,土壤各粒级团聚体中全氮含量也会相应增加^[34],这与本研究结果一致,即随着棉粕施用量的增加,各粒级团聚体中全氮含量也随之增加。有机碳含量在较小粒级团聚体中最高,全氮含量则在大粒级团聚体中最高。主成分分析结果表明,小粒级团聚体中有机碳、大粒级团聚体中全氮是影响土壤性质的主要因子。

参考文献:

- [1] 王 飞,丁建丽,魏 阳,等. 基于 Landsat 系列数据的盐分指数和植被指数对土壤盐度变异性的响应分析——以新疆天山南北典型绿洲为例[J]. 生态学报,2017, 37(15):1-16.

- [2] 徐万里,张云舒,刘 骅. 新疆盐渍化土壤氮肥挥发损失特征初步研究[J]. 生态环境,2007(1):176-179.
- [3] 王安平,吕云峰,张军民,等. 我国棉粕和棉籽蛋白营养成分和棉酚含量调研[J]. 华北农学报,2010, 25(S1):301-304.
- [4] 韩 伟,李晓敏,刘 倩,等. 微生物固态发酵和酶解工艺处理棉粕的研究[J]. 中国油脂,2017(1):112-115.
- [5] 江春玉,刘 萍,刘 明,等. 不同肥力红壤水稻土根际团聚体组成和碳氮分布动态[J]. 土壤学报,2017,54(1):138-149.
- [6] 鄂玉联,谭兰兰,安梦洁,等. 高分子化合物对盐渍化棉田土壤团聚体组成及棉花产量的影响[J]. 南方农业学报, 2017,48(11):1989-1993.
- [7] 潘保原. 土壤改良物质对盐渍化土壤改良的作用[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2006.
- [8] 马 妍,尹建道,张建唐,等. 酸性残渣对天津滨海盐碱土的改良效果[J]. 江苏农业科学,2017,45(23):251-253.
- [9] LIU Y Z, YUAN Y C, CHEN Z H. On the combustion mechanism and development of the distillers' grain-fired boiler[J]. Applied Thermal Engineering, 2001, 22(3):349-353.
- [10] GOODWIN J A, FINLAYSON J M, LOW E W. A further study of the anaerobic biotreatment of malt whisky distillery pot ale using an UASB system[J]. Bioresource Technology, 2001, 78(2):155-60.
- [11] 张 蛟,崔士友. 盐生植物和秸秆覆盖对滩涂极重度盐土养分和降盐效果的影响[J]. 南方农业学报, 2018,49(1):56-61.
- [12] TOKUDA M, FUJIWARA Y, KIDA K. Pilot plant test for removal of organic matter, N and P from whisky pot ale[J]. Process Biochemistry, 1999, 35(3/4):267-275.
- [13] 王 娟,张丽君,姚槐应. 添加秸秆和黑炭对水稻土碳氮转化及土壤微生物代谢图谱的影响[J]. 中国水稻科学,2013(1):97-104.
- [14] 葛 云,程知言,胡 建,等. 不同秸秆利用方式下江苏滨海盐碱地盐碱障碍调控[J]. 江苏农业科学,2018,46(2):223-227.
- [15] 王睿彤,陆兆华,孙景宽,等. 土壤改良剂对黄河三角洲滨海盐碱土的改良效应[J]. 水土保持学报,2012,26(4):239-244.
- [16] 梁 爽. 吉林西部盐碱农田土壤酶和微生物对有机碳和无机碳变化的作用研究[D]. 长春:吉林大学,2016.
- [17] 熊本海,罗清尧,赵 峰,等. 中国饲料成分及营养价值表(2015年第26版)制订说明[J]. 中国饲料,2015(21):23-33.
- [18] 郑子成,何淑勤,王永东,等. 不同土地利用方式下土壤团聚体中养分的分布特征[J]. 水土保持学报,2010,24(3):170-174.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:121-991.
- [20] 徐阳春,沈其荣. 长期施用不同有机肥对土壤各粒级复合体中C、N、P含量与分配的影响[J]. 中国农业科学, 2000, 33(5):65-71.
- [21] 朱永刚. 主成分分析法与聚类分析法在胎衣不下奶牛血液生化研究中的应用[J]. 西北农业学报,2017,26(5):685-692.
- [22] 曹 森,王 瑞,刘 莹,等. 基于主成分分析的1-MCP处理对艳红桃货架期品质的影响[J]. 江苏农业学报,2017,33(1):197-203.
- [23] 米会珍. 生物炭对旱作农田土壤团聚体碳氮分布的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2015.
- [24] 王双磊,刘艳慧,宋宪亮,等. 棉花秸秆还田对土壤团聚体有机碳及氮磷钾含量的影响[J]. 应用生态学报,2016,27(12):3944-3952.
- [25] 陈恩凤,关连珠,汪景宽,等. 土壤特征微团聚体的组成比例与肥力评价[J]. 土壤学报,2001,38(1):49-53.
- [26] 卢 怡,龙 健,廖洪凯,等. 不同土地利用方式对喀斯特峰丛洼地土壤团聚体碳、氮、磷分布特征的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(6):289-294.
- [27] 李辉信,袁颖红,黄欠如,等. 不同施肥处理对红壤水稻土团聚体有机碳分布的影响[J]. 土壤学报,2006,43(3):422-427.
- [28] ARDUINO E, BARBERIS E, BOERO V. Iron oxides and particle aggregation in B horizons of some Italian soils[J]. Geoderma, 1989, 45(3):319-329.
- [29] CHANEY K, SWIFT R S. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils[J]. European Journal of Soil Science, 1984, 35(2):223-230.
- [30] CHURCHMAN G J, TATE K R. Aggregation of clay in different types of New Zealand soils[J]. Geoderma, 1986, 37:207-220.
- [31] JASTROW J D. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1996, 28(4/5):665-676.
- [32] 张 萌. 长期轮作与施肥对土壤团聚体碳氮分布的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2013.
- [33] 刘韬韬,熊友才,杨 岩,等. 玛纳斯河下游绿洲荒漠交错带土壤盐碱化特征分析[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2012,30(2):186-192.
- [34] 付琳琳. 生物质炭施用下稻田土壤有机碳组分、腐殖质组分及团聚体特征研究[D]. 南京:南京农业大学,2013.

(责任编辑:王 妮)