

食用菌菌糠配施化肥改良滨海盐碱耕地的效果研究

王春霞, 许子洁, 王 晶, 郑素月*

(河北工程大学园林与生态工程学院, 河北 邯郸 056038)

摘 要: 为了研究食用菌菌糠配施化肥对滨海盐碱耕地的改良效果, 探索出一项绿色、高效、节约型的改良培肥技术, 试验设置了空白对照 CK (不施肥)、T1 (单施化肥)、T2 (90% 化肥 +10% 菌糠)、T3 (70% 化肥 +30% 菌糠)、T4 (50% 化肥 +50% 菌糠) 和 T5 (30% 化肥 +70% 菌糠) 共 6 个处理组。研究结果表明: 食用菌菌糠配施化肥对滨海盐碱耕地的改良效果显著优于 CK 及 T1 处理组。(1) 土壤物理性状: T3 和 T4 处理组的土壤容重都显著下降 ($P<0.05$), 分别下降 9.79% 和 17.48%; 与 CK 相比, 孔隙度变化也均表现出显著性差异 ($P<0.05$)。(2) 土壤化学性状: 随着菌糠施用量的增加, 土壤的 pH 值及碱化度整体上呈下降趋势, 土壤阳离子交换量呈增加趋势, 其中 T5 组效果最佳。(3) 土壤酶活性: 随着菌糠施用量的增加, 土壤脲酶活性表现为先增后降, T4 处理组的效果最好, 脲酶活性高达 $1.65 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$; 同时 T4 处理组土壤转化酶活性最高, 较 CK 提高 18.19%。(4) 土壤有机质和全氮、有效磷、速效钾养分: T2、T3、T4 及 T5 处理组土壤有机质含量与 CK 相比显著增加了 12.75% ~ 88.68% ($P<0.05$), 随着菌糠施用量的增加, 有机质含量呈增长趋势。菌糠施用量较小时, 增氮效果与单施化肥无明显差异, 菌糠施用量加大, 土壤增氮效果逐渐显著。菌糠施用量为 $3582.80 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 有效磷含量最高 ($18.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。与 CK 相比, T2 处理组速效钾含量无明显变化, 其他各处理土壤速效钾含量显著升高 ($P<0.05$), 增幅依次为 $T4>T3>T5>T1$ 。因此, 盐碱地改良采用食用菌菌糠与化肥配合施用, 是一种绿色、有效的有效措施, 综合分析, T4 处理组改良效果最好。

关键词: 海滨盐碱地改良; 食用菌菌糠; 化肥; 配施

盐碱地由盐土和碱土组成^[1], 气候变化、地形地质、水文条件和人为活动都是盐碱地形成的重要因素^[2]。盐碱土是我国重要的后备土地资源^[3], 我国盐碱地分布广泛, 盐碱地总面积高达 $9.9 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ^[4], 其中滨海盐碱地约占 40%^[5]。盐碱地土壤含有过高的土壤盐分, 不仅导致作物吸水困难, 同时也会抑制作物对养分的吸收, 甚至抑制微生物对土壤中养分的转化等, 导致作物生长不良, 直接严重影响作物的产量^[6]。因此, 对滨海盐碱地土壤进行改良和开发利用, 不仅可以增加作物产量, 缓解粮食危机, 而且对保障我国耕地和粮食生产安全、严守国家耕地红线及保障土地资源可持续利用具有重大意义^[7]。

我国于 20 世纪 50 年代开始大规模地对盐碱地

进行改良治理和开发, 经历了农改阶段、水改阶段和农、林、水综合治理阶段^[4]。对于盐碱耕地的改良治理前人已经作了大量的研究工作, 如张晓贺等^[8]研究了不同施肥处理对新垦盐碱荒地盐分转移的影响, 认为增施有机肥可以抑制土壤返盐; 霍琳等^[9]认为有机无机肥配合施用能显著改善新垦盐碱荒地土壤的理化性质; 吴从稳等^[10]研究了棉秆还田对黄河三角洲滨海盐碱土改良的效果, 发现棉秆还田利用既可以改善盐碱土的理化性质, 也可以减少资源的浪费。滨海盐碱地是我国盐碱地类型的一种, 其盐渍化程度严重, 生态环境脆弱^[11], 目前对滨海盐碱地改良进行的广泛探讨, 主要为物理、水利、化学和生物 4 种改良措施^[12]。但是目前食用菌菌糠配施化肥对滨海盐碱地改良的研究较少, 食用菌菌糠是生产食用菌后废弃的固体培养基, 含有丰富的有机物、多种矿质元素及活性物质等^[13], 大量菌糠如果不及及时进行处理利用, 将会严重污染环境, 并且浪费资源。

本试验以河北省沧州市滨海盐碱耕地土壤为材料, 通过菌糠配合化肥施用, 设计不同的培肥措

收稿日期: 2021-01-14; 录用日期: 2021-04-10

基金项目: 河北省现代农业产业技术体系食用菌创新团队建设专项 (HBCT2018050202); 平菇种质资源创制与新品种选育研究 (19222903D); 邯郸市固体废弃物资源化利用水平研究 (2020027)。

作者简介: 王春霞 (1989-), 讲师, 博士, 主要从事食用菌遗传育种研究。E-mail: wangchunxia@hebeu.edu.cn。

通讯作者: 郑素月, E-mail: zhengsuyue@sina.com。

施,探究不同培肥措施对滨海盐碱耕地土壤的改良效果,以期筛选出最佳的培肥措施,为滨海盐碱耕地土壤改良、耕层培育集成技术提供科学依据和技术支撑,从而促进我国滨海盐碱地资源化利用研究的方法创新和可持续发展。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于沧州职业技术学院试验基地(39° 91' 24.54" E, 116° 41' 12.54" N),东临渤海,属暖温带大陆季风气候,年均降水量 581 mm,年均蒸发量 1918 mm,年均气温 12.5 ℃,年均日照时数 2451 ~ 2456 h,无霜期 181 d 左右,年积温 4785 ℃。试验地地势平坦,试验前 0 ~ 20 cm 土壤基础性状见表 1。

表 1 供试土壤基础性状

pH	容重 (g · cm ⁻³)	阳离子交换量 (cmol · kg ⁻¹)	碱化度 (%)	脲酶活性 (mg · g ⁻¹ · d ⁻¹)	转化酶活性 (mg · g ⁻¹ · d ⁻¹)	有机质 (g · kg ⁻¹)	全氮 (g · kg ⁻¹)	有效磷 (mg · kg ⁻¹)	速效钾 (mg · kg ⁻¹)
9.37	1.42	6.25	18.49	0.56	6.98	8.39	0.76	11.58	247.85

1.2 试验材料

供试作物为冬小麦-夏玉米一年两作,小麦品种为良星 99,玉米品种为郑单 958。食用菌菌糠取自沧州市平菇种植基地,选用出菇后未被污染的菌棒,先粗粉碎,经太阳暴晒 10 d 后,再进一步粉碎成直径为 0.1 ~ 0.5 cm 的颗粒,菌糠 pH 值为 7.63,有机质含量为 58.3%,N、P₂O₅ 和 K₂O 含量分别为 3.14%、1.23% 和 2.89%。

1.3 试验设计

试验采用随机区组设计,共设置 6 组处理:CK(不施肥)、T1(单施化肥)、T2(90% 化肥+10% 菌糠)、T3(70% 化肥+30% 菌糠)、T4(50% 化肥+50% 菌糠)、T5(30% 化肥+70% 菌糠),其中每组试验处理中菌糠及化肥的具体用量见表 2,每个处理设置 3 个重复,小区面积为 15 m²。常规施肥氮、磷、钾肥源分别为碳酸氢铵、普通过磷酸钙和氯化钾,其中氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)施用量分别为 225、135、135 kg · hm⁻²。其中,磷和钾肥全部基施,氮肥按基肥:分蘖肥:孕穗肥=3:2:1 的比例进行施用。

表 2 不同施肥处理的肥料施用量 (kg · hm⁻²)

处理	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	食用菌菌糠
CK	0	0	0	0
T1	225.00	135.00	135.00	0
T2	202.50	121.50	121.50	716.56
T3	157.50	94.50	94.50	2149.68
T4	112.50	67.50	67.50	3582.80
T5	67.50	40.50	40.50	5015.92

1.4 土壤样品的采集

在试验未施肥时和小麦-玉米轮作完成后,分别用土钻对耕层(0 ~ 20 cm)进行土壤样品采集,然后剔除石块和动植物残体等杂质,一部分风干过筛,用于 pH 值、有机质、全氮及有效磷等养分测定;另一部分土壤鲜样冷藏保存,用于酶活性测定。

1.5 土壤样品测定方法

有机质采用重铬酸钾容量-外加热法测定,全氮采用半微量凯氏定氮法测定,有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定,速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度法测定^[14]。土壤 pH 值采用 pH 计测定,土壤容重及孔隙度采用环刀法测定,阳离子交换量(CEC)采用乙酸铵-氢氧化铵交换-火焰光度法测定^[15],土壤脲酶和转化酶活性分别采用靛酚显色-比色法、3,5-二硝基水杨酸比色法测定^[16],碱化度(ESP)的计算公式为^[17]:

$$\text{EPS}(\%) = \frac{\text{交换性钠离子}}{\text{阳离子交换量}} \times 100$$

1.6 数据统计分析

运用 Excel 2010 进行数据计算及作图、SPSS 20.0 进行方差分析,采用 Duncan 法进行多重比较($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 食用菌菌糠配施化肥对土壤物理性状的影响

土壤容重和孔隙度是基础物理指标,直接影响土壤的通气性和透水性,能直接反映土壤的板结程度和蓄水能力^[18]。由表 3 可以看出,与 CK 相比,T1 处理组的土壤容重增加 1.40%。而菌糠与化肥

配施后土壤容重有所下降, 其中 T2 和 T5 处理组土壤容重分别下降 5.59% 和 4.90%, 但均未达到差异显著水平; T3 和 T4 处理组的土壤容重都显著下降 ($P<0.05$), 分别下降 9.79% 和 17.48%。孔隙度可反映土壤孔隙状况和松紧程度, 从测定结果可以看出, 单施化肥 (T1) 对土壤孔隙度几乎无影响, 土壤孔隙度以 T5 处理组最大, 土壤孔隙度的变化依次为 T5>T4>T3>T2, 与 CK 相比, 孔隙度变化均表现出显著性差异 ($P<0.05$), 这是由于食用茵菌糠对土壤结构具有支撑作用, 增加了土壤的孔隙度。食用茵菌糠与化肥配施对滨海盐碱耕地容重的降低和孔隙度的增加起到了良好的改良效果, 土壤通透性得到明显改善, 有利于土壤盐分的淋溶和作物生长, 可作为改良滨海盐碱耕地土壤结构的优选。

表 3 不同施肥处理的土壤容重与孔隙度

处理	土壤容重 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	土壤孔隙度 (%)
CK	1.43ab	48.59b
T1	1.45a	48.27b
T2	1.35bc	50.24a
T3	1.29c	50.38a
T4	1.18d	50.72a
T5	1.36bc	50.83a

注: 同列不同小写字母表示不同处理之间差异显著 ($P<0.05$)。

2.2 食用茵菌糠配施化肥对土壤化学性状的影响

2.2.1 食用茵菌糠配施化肥对土壤 pH 值的影响

盐碱地土壤 pH 值偏高是抑制植物生产的主要因素之一, 图 1 为不同施肥处理对盐碱耕地土壤 pH 值的影响。从图中可以看出, 与 CK 相比, 单

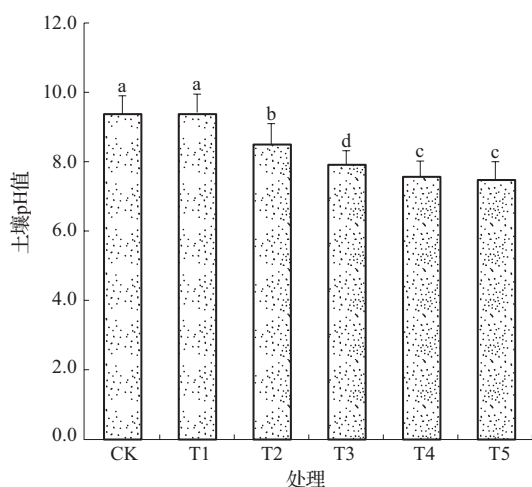


图 1 食用茵菌糠配施化肥对土壤 pH 值的影响

注: 不同小写字母表示不同处理之间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

施化肥 (T1) 对 pH 值无影响, 添加食用茵菌糠后土壤的 pH 值呈下降趋势 (T2>T3>T4>T5), 降幅为 9.61% ~ 20.56%, pH 值的变化均表现出差异显著性 ($P<0.05$), 其中 T5 处理组的效果最好, 使 pH 值降至 7.44, 更适合植物生长。茵糠能够降低盐碱耕地土壤 pH 值, 可能与茵糠或其腐解产生的腐殖酸组成中含有多种功能团有关^[19]。

2.2.2 食用茵菌糠配施化肥对土壤阳离子交换量的影响

CEC 是土壤的基本特性和重要肥力影响因素之一, 反映土壤保蓄、供应和缓冲阳离子的能力^[20]。经过不同施肥处理土壤 CEC 发生了显著变化, 如图 2 所示, 与 CK 相比, T1 处理组使 CEC 增加了 8.64%。食用茵菌糠配施化肥处理比 T1 处理效果好, 随着茵糠施用量的加大, 土壤 CEC 呈增长趋势, 增加量分别为 25.92%、34.56%、43.84% 和 53.12%, 其中 T5 处理组的 CEC 最高。

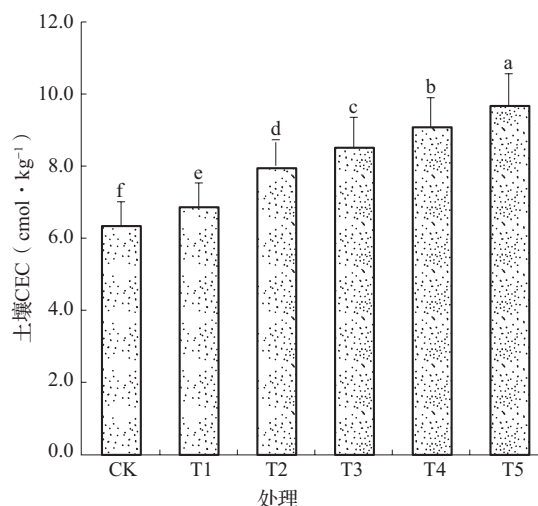


图 2 食用茵菌糠配施化肥对土壤 CEC 的影响

2.2.3 食用茵菌糠配施化肥对土壤碱化度的影响

土壤的 ESP 对营养元素的转化与释放有很大的影响^[21], 是观察土壤盐碱化程度最直接的指标。由图 3 可以看出, CK 属于中重度的盐碱化土壤 ($\text{ESP}>15\%$), T1 处理组的盐碱耕地土壤的 ESP 只降低了 12.4%, 且差异不显著 ($P>0.05$); 施用茵糠后, 土壤的 ESP 相对于 CK 及 T1 都显著下降 ($P<0.05$), 降幅依次为 T2<T3<T4<T5, 虽然土壤的 ESP 随茵糠施用量的增加而降低, 但当茵糠施用量为 50% 与 70% 时, 土壤的 ESP 分别下降 27.26%、28.23%, 且两者之间差异不显著 ($P>0.05$)。

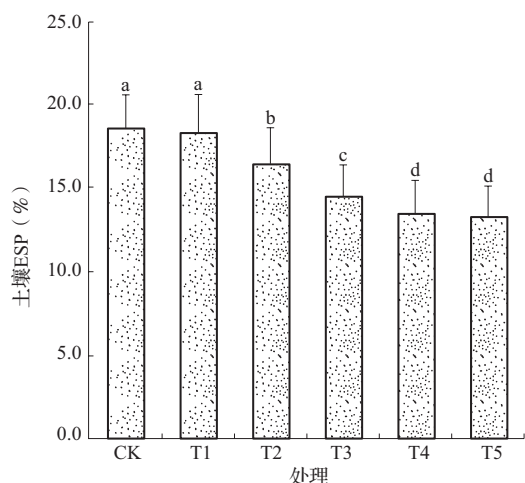
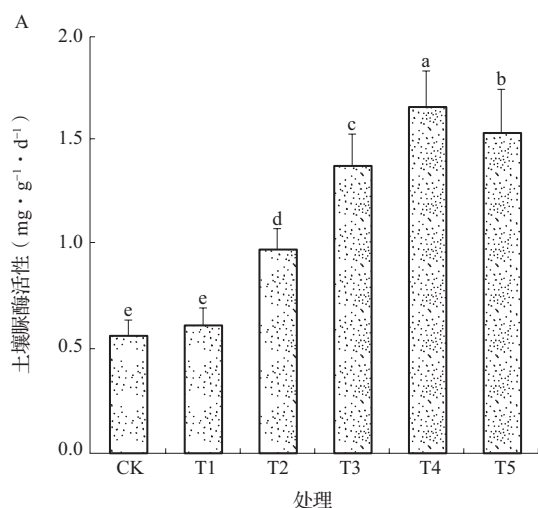


图3 食用菌菌糠配施化肥对土壤ESP的影响

2.3 食用菌菌糠配施化肥对土壤酶活性的影响

由图4A可知,与CK相比,食用菌菌糠与化肥配施能够明显提高滨海盐碱耕地土壤脲酶的活



性,并且各平行处理间差异显著 ($P<0.05$),随着菌糠施入量的增加,土壤脲酶活性表现为先升后降的趋势,以T4处理组的效果最佳,脲酶活性高达 $1.65 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,T1处理组的土壤脲酶活性有所升高,但差异不显著 ($P>0.05$)。土壤转化酶是土壤酶中的重要酶类,直接参与土壤碳循环,反映土壤有机碳转化能力^[22]。由图4B可知,T1处理组土壤转化酶活性较CK提高了0.86%,但差异不显著 ($P>0.05$)。施用菌糠显著提高了转化酶活性 ($P<0.05$),提高幅度为4.73%~18.19%,T4处理组的土壤转化酶活性最高,较CK提高18.19%,但继续增加菌糠施用量,土壤转化酶活性不再升高。说明菌糠与化肥配施可以提高土壤转化酶的活性,但菌糠的用量不是越多越好,当菌糠施用量为 $3582.80 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,效果最好。

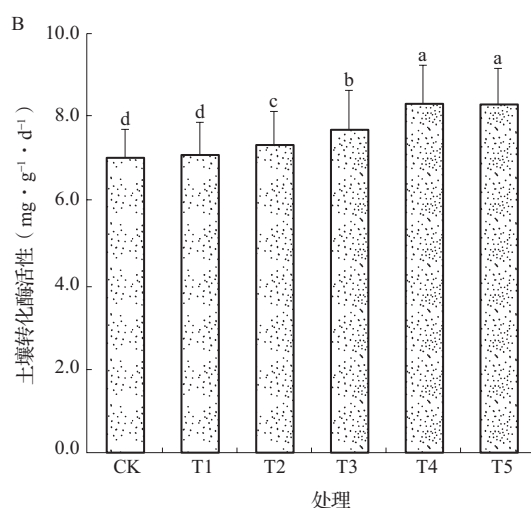


图4 食用菌菌糠配施化肥对土壤酶活性的影响

2.4 食用菌菌糠配施化肥对土壤有机质及养分的影响

2.4.1 食用菌菌糠配施化肥对土壤有机质的影响

提高有机质含量是盐碱耕地改良的重要目标之一,对不同比例配施食用菌菌糠后盐碱耕地土壤有机质含量进行分析,CK及各处理土壤有机质含量的变化如图5所示,CK土壤有机质的含量为 $8.39 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,各处理土壤有机质含量为 $8.27 \sim 15.83 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中T2、T3、T4及T5处理组土壤有机质含量与CK相比显著增加了12.75%~88.68% ($P<0.05$),随着菌糠施用量的增加,有机质含量呈增长趋势;而T1处理组和CK基本上没有变化。该结果可能

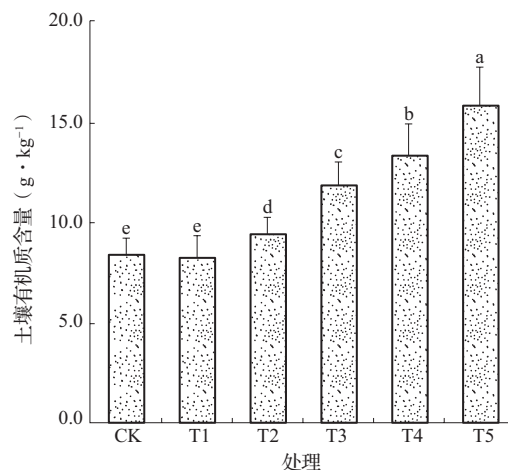


图5 食用菌菌糠配施化肥对土壤有机质的影响

由于盐碱耕地施用的菌糠中含丰富的有机质(含量为58.3%),该有机质经过自然氧化和微生物分解的作用变成土壤中的小分子有机物质,从而导致土壤中有机质含量增高。

2.4.2 食用菌菌糠配施化肥对土壤养分含量的影响

不同施肥处理下土壤养分含量的变化情况如图6所示。CK土壤全氮含量为 $0.66 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,

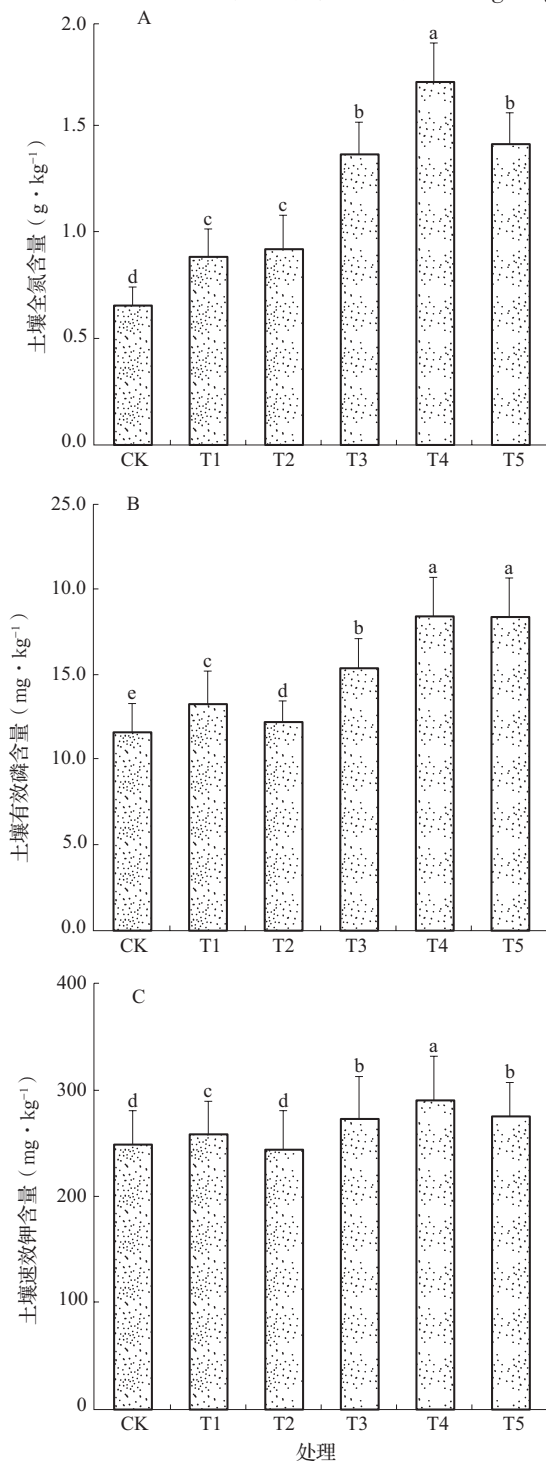


图6 食用菌菌糠配施化肥对土壤全氮、有效磷、速效钾的影响

与CK相比各施肥处理土壤全氮含量显著增加了34.85%~159.09% ($P<0.05$, 图6A)。其中T1与T2处理组间差异不显著,即菌糠施用量较小时,增氮效果与单施化肥无明显差异。随着菌糠施用量的加大,土壤增氮效果逐渐显著,T4处理组(50%化肥+50%菌糠)增氮效果最好。土壤有效磷含量的变化趋势与全氮相似,菌糠施用量低时,与单施化肥相比无优势,施用量为 $3582.80 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时(T4),有效磷含量最高,为 $18.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,施用量继续加大,有效磷含量不再增加(图6B)。易被作物吸收利用的钾称作速效钾,原盐碱土壤(CK)的速效钾含量为 $247.85 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,经过不同施肥处理后,各组的速效钾含量有不同的变化,如图6C所示,与CK相比,T2处理组速效钾含量无明显变化,其他各处理土壤速效钾含量显著升高($P<0.05$),增幅大小依次为 $T4>T3>T5>T1$,T4处理组速效钾含量升高最多,增加了17.74%;T5处理组速效钾含量比T4处理组低,说明菌糠施用量不是越大越好,以50%菌糠添加量效果最佳。综上所述,50%化肥+50%菌糠的施肥处理对提高盐碱耕地土壤全氮、有效磷、速效钾养分的效果最佳。

3 讨论

有机肥料与化肥配施是改良盐碱耕地的重要措施,有机无机结合施肥可以显著降低盐碱地土壤容重、pH值,增加土壤有机质含量,提高土壤肥力等,有效改善盐碱耕地的土壤生态环境。有研究发现每公顷添加1000 kg的生物炭作为有机肥料,可以显著降低土壤容重^[23]。徐娜娜等^[24]研究发现,将秸秆粉作为有机肥料直接加入到盐碱地中,并不能起到改良土壤的效果,反而不利于植物的生长,而发酵的秸秆粉能显著提高土壤肥力。本研究中将食用菌菌糠作为有机肥料,同化肥以不同比例配施来探究对滨海盐碱耕地的改良效果,其中食用菌菌糠是由食用菌菌丝残体和经食用菌酶解后产生的复合物,含有丰富的蛋白质、微量元素及多糖等营养物质。菌糠是很好的土壤改良剂,能够活化土壤,为多种微生物提供适宜的生存环境,提高土壤肥力。利用菌糠进行土壤改良的研究已有报道,王腾等^[25]研究发现施用菌糠肥料后玉米干物质质量有所增加。王栩^[26]以平菇菌糠为底肥,发现其可以降低土壤容重。食用菌菌糠不仅是良好的土壤改良剂,还可以作为一种新型肥料及能源材料。

本研究中食用茵菌糠与化肥配施能显著提高盐碱耕地土壤中脲酶及转化酶的活性,其中T4处理组土壤的脲酶及转化酶活性都最高,这可能由于菌糠中含有大量植物残体及微生物,微生物数量的增加,导致产生更多的土壤酶。菌糠中含有丰富的有机质,能更新土壤腐殖质组成,另外还含有丰富的氮、磷、钾等营养元素,提高土壤的保墒和保肥能力。在添加菌糠后,盐碱耕地土壤的有机质、全氮、有效磷及速效钾含量都明显提高,综合测评显示以50%的食用茵菌糠(T4)施用量效果最佳,可能由于微生物将这些营养进行腐解,使营养元素归还到土壤中。在盐碱地改良过程中增施有机肥料不仅可以提高土壤的肥力,还可以改善土壤的物理性状,食用茵菌糠对盐碱地土壤的容重和孔隙度起到良好的改良效果,土壤通透性明显改善。另外添加菌糠后盐碱耕地土壤的pH值及ESP显著降低,CEC含量增加,更加有利于作物的生长。

食用菌具有很高的食用和药用价值,近年来深受欢迎,我国是食用菌生产大国,产量占世界总产量的75%,每年产出超过7500万t的菌糠^[27],菌糠如果不及时利用将会造成资源浪费及环境污染。盐碱耕地改良大量施用菌糠既可以提高土壤肥力、改善土壤生态环境,又能减少化肥施用、节约资源。因此食用菌菌糠与化肥配施改良盐碱耕地是一种高效、绿色、行之有效的方法。

4 结论

食用菌菌糠与化肥配施能够显著改善滨海盐碱耕地的理化性状,降低土壤容重,增加土壤孔隙度,降低土壤pH值及ESP,提高土壤的CEC等。同时土壤肥力也明显提高,土壤有机质含量、全氮、有效磷及速效钾养分含量增加,与单施化肥相比具有明显的优势。综合分析认为50%食用菌菌糠与50%化肥配施是较为科学的施用模式。

参考文献:

- [1] 景宇鹏,段玉,妥德宝,等.河套平原弃耕地土壤盐碱化特征[J].土壤学报,2016,53(6):1410-1420.
- [2] 李志杰.盐碱土农业生态工程[M].北京:科学出版社,2015.
- [3] 王健,李傲瑞.我国盐碱地改良技术综述[J].现代农业科技,2019(21):182-183,185.
- [4] 马桂秀,林治安,李志杰,等.有机物料与化肥配施改良盐碱耕地的效果研究[J].中国土壤与肥料,2019(3):69-75.
- [5] 王佳丽,黄贤金,钟太洋,等.盐碱地可持续利用研究综述[J].地理学报,2011,66(5):673-684.
- [6] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress [J]. Plant Cell and Environment, 2002, 25(2): 239-250.
- [7] 王庆蒙,景宇鹏,李跃进,等.不同培肥措施对河套灌区盐碱地改良效果[J].中国土壤与肥料,2020(5):124-131.
- [8] 张晓贺,杨思存,陈英,等.不同施肥处理对新垦盐碱荒地盐分运移的影响[J].甘肃农业大学学报,2013,48(6):110-115.
- [9] 霍琳,王成宝,逢焕成,等.有机无机肥配施对新垦盐碱荒地土壤理化性状和作物产量的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(4):105-111.
- [10] 吴从稳,陈小兵,单晶晶,等.棉秆不同处理方式对滨海盐碱土壤理化性质和棉花产量的影响[J].中国土壤与肥料,2016(5):96-104.
- [11] 路晓筠,项卫东,郑光耀,等.盐碱地改良措施研究进展[J].江苏农业科学,2015,43(12):5-8.
- [12] 徐成龙,董奕岑,卢家磊,等.我国滨海盐碱地土壤改良及资源化利用研究进展[J].世界林业研究,2020,33(6):68-72.
- [13] 张莹,田龙,徐敏慧,等.食用菌菌糠综合利用研究进展[J].微生物学通报,2020,47(11):3658-3670.
- [14] 鲍士旦.土壤农化分析(第3版)[M].北京:中国农业出版社,2008.
- [15] 万书勤,孙甲霞,董世德,等.低洼重度盐碱地滴灌水盐调控的环境效应[J].干旱地区农业研究,2019,37(1):1-10.
- [16] 关松荫.土壤酶及其研究方法[M].北京:农业出版社,1986.
- [17] 解雪峰,濮励杰,朱明,等.基于典范对应分析的滨海滩涂围垦区景观格局与土壤盐渍化关系[J].地理研究,2017,36(3):495-505.
- [18] 高艳鹏,赵廷宁,骆汉,等.黄土丘陵沟壑区人工刺槐林土壤水分物理性质[J].东北林业大学学报,2011,39(2):64-66.
- [19] 谢修鸿,李玉.姬松茸菌糠改良苏打盐碱土对土壤化学性质及牧草生长的影响[J].吉林农业大学学报,2010,32(5):518-522.
- [20] 鲁艳红,聂军,廖育林,等.不同控释氮肥减量施用对双季水稻产量和氮素利用的影响[J].水土保持学报,2016,30(2):155-161,174.
- [21] Ranjbar F, Jalali M. Long-term simulation of some soil chemical properties under continuous wheat cultivation irrigate with waters of different qualities [J]. International Journal of Environmental Science and Technology, 2019, 16(7): 3249-3264.
- [22] Cusack D F, Silver W L, Torn M S, et al. Changes in microbial community characteristics and soil organic matter with nitrogen additions in two tropical [J]. Ecology, 2011, 92(3): 621-632.

- [23] Macdonald L M, Farrell M, Zwieten L V, et al. Plant growth responses to biochar addition: an Australian soil perspective [J]. *Bioenergy and Fertility of Soils*, 2014, 50 (7): 1035–1045.
- [24] 徐娜娜, 解玉红, 冯炘. 添加秸秆粉对盐碱地土壤微生物生物量及呼吸强度的影响 [J]. *水土保持学报*, 2014, 28 (2): 185–188.
- [25] 王腾, 王效举, 张建国, 等. 不同菌糠肥料对灌溉区玉米生长、土壤 Cu 形态及酶活性的研究 [J]. *灌溉排水学报*, 2015, 34 (10): 40–43.
- [26] 王栩. 菌糠改良保护地土壤容重退化效果的研究 [J]. *安徽农业科学*, 2010, 38 (15): 8091, 8093.
- [27] 曹雪莹, 陈智毅, 唐秋实, 等. 金针菇菌糠啤酒糟有机肥对土壤及马铃薯品质的影响 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8 (6): 2140–2145.

Effect of combination application of spent mushroom substrates with chemical fertilizer on the improvement of coastal saline-alkali farmland

WANG Chun-xia, XU Zi-jie, WANG Jing, ZHENG Su-yue* (School of Landscape and Ecological Engineering, Hebei University of Engineering, Handan Hebei 056038)

Abstract: In order to study the improvement effect of spent mushroom substrates (SMS) with chemical fertilizer (HF) on the coastal saline-alkali farmland soil and explore an ecological and efficient improvement technology, 6 treatments were set up, including: (1) CK; (2) T1 (single application of chemical fertilizer, 100% HF); (3) T2 (90% HF +10% SMS); (4) T3 (70% HF +30% SMS); (5) T4 (50% HF +50% SMS); (6) T5 (70% HF +30% SMS). The results showed that the improvement effect of SMS with chemical fertilizer was significantly better than that of CK and T1. (1) Soil physical properties: soil bulk density of T3 and T4 treatments significantly decreased by 9.79% and 17.48%, respectively ($P<0.05$), and soil porosity also increased significantly, compared with CK. (2) Soil chemical properties: with the increase of SMS, the soil pH and alkalinity showed a downward trend, the cation exchange capacity (CEC) showed an increasing trend and the CEC content of T5 treatment was the highest. (3) Soil enzyme properties: with the increase of the amount of SMS, the activity of soil urease first increased and then decreased. The urease activity of T4 treatment was the highest ($1.65 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$). At the same time, the invertase activity of T4 treatment was the highest, and increased by 18.19% compared with CK. (4) Soil organic matter and total nitrogen, available phosphorus and available potassium nutrients: compared with CK, the soil organic matter of T2, T3, T4 and T5 treatments increased by 12.75% ~ 88.68% ($P<0.05$). With the increase of the SMS, the content of soil total nitrogen increased gradually. The content of available phosphorus was the highest ($18.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) when the amount of SMS was $3582.80 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. There was no significant change in the content of available potassium of T2 treatment, but the available potassium in other treatments increased significantly ($P<0.05$), and the increasing order was $T4>T3>T5>T1$. Therefore, the combination of SMS and chemical fertilizer was a green, efficient and effective measure for saline-alkali soil improvement. Comprehensive analysis showed that T4 treatment was the best.

Key words: improvement of coastal saline-alkali farmland; spent mushroom substrates; chemical fertilizer; combination