

煤炭腐植酸对土壤物理性质及玉米生长发育的影响

顾鑫,任翠梅,杨丽,王丽娜,高国金,李建英,朱蕾,杜志强
(黑龙江省农业科学院大庆分院,黑龙江 大庆 163316)

摘要:【目的】改良土壤,提高作物产量。【方法】以“先玉335”玉米为试材,在黑龙江省农业科学院大庆分院试验基地开展玉米田间小区种植试验,分别设置空白对照(CK)、单施化肥(T1)、低量煤炭腐植酸(T2)、中量煤炭腐植酸(T3)、高量煤炭腐植酸(T4)、低化肥与低量腐植酸配施(T5)6个处理。探究煤炭腐植酸对土壤物理性质及玉米生长发育的影响。【结果】施用煤炭腐植酸显著提高了土壤含水率,显著降低了土壤体积质量,且升高和降低的幅度均随着腐植酸施用量的增多而增大。T4处理土壤含水率最高,平均为19.2%,与CK相比,升高近30%;各处理间土壤体积质量差异显著($P<0.05$),在 $0.97\sim 1.28\text{ g/cm}^3$ 之间,其大小顺序为CK>T1处理>T5处理>T2处理>T3处理>T4处理。化肥和煤炭腐植酸均有利于玉米的生长,相比之下,适量的煤炭腐植酸更有利于促进玉米植株增高、增粗。T3处理株高最高,平均为329.3 cm,与CK相比,增加近14%。T5处理茎粗最高,平均为3.03 cm,与T3、T4处理差异不显著,却显著高于其他处理($P<0.05$)。T3和T5处理籽粒产量平均为 $11\ 077.5\text{ kg/hm}^2$ 和 $11\ 371.5\text{ kg/hm}^2$,与CK相比,分别增加近16.8%和20%。【结论】综合可见,科学合理施用煤炭腐植酸对土壤物理性质起到一定改善效果,有利于玉米作物的生长发育。

关键词:腐植酸;土壤;玉米;化肥

中图分类号:S156.4

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.20180066

顾鑫,任翠梅,杨丽,等.煤炭腐植酸对土壤物理性质及玉米生长发育的影响[J].灌溉排水学报,2019,38(1):26-30.

0 引言

黑龙江省大庆地区处于北温带大陆性季风气候区,土地大面积发生盐碱化^[1],养分较贫瘠,土壤结构较差,导致作物的产量不高,多年以来土壤改良问题成为该地区亟须解决的一大难题。由于土壤体积质量、水分、孔隙度以及土壤固、液、气三相体系中所产生的各种物理现象^[2],不仅决定了土壤的结构特征,也影响着土壤肥力的高低,关系到地上作物的生长发育及产量^[3],因此采取有效措施改善土壤的物理性质十分必要。近年来,人们探索应用各种无机的或有机的土壤改良剂以改善土壤性质,其中腐植酸类物质作为土壤改良剂引起广泛关注^[4-5]。在我国,藏于煤矿中的煤炭腐植酸资源十分丰富且宝贵^[6],整体呈酸性,颜色较深,生理活性较高,施用于土壤能够吸收日光来提高土壤温度^[7],对改良土壤具有奇特的功效,对作物根系的生长有较好的促进作用。王洪凤等^[8]通过添加未活化和活化的风化煤腐植酸,对比研究了2种腐植酸对土壤肥力和理化性状的影响,研究结果指出活化的风化煤腐植酸可以较好地使土壤颗粒团聚在一起,形成良好的团粒结构,改善土壤的通透性。王帅等^[9]以新疆风化煤为材料进行试验研究,指出煤炭腐植酸在缓解农田铜离子污染和提升作物铜离子生物有效性方面发挥极其重要的作用。Ijaz等^[10]在拉瓦尔品第PMAS干旱农业大学研究农场的园区内研究了煤炭腐植酸作为土壤改良剂对土壤物理性质和小麦产量的影响,结果指出煤炭腐植酸能通过影响土壤总有机碳、饱和导水率、团聚体稳定性、体积质量和土壤含水率等指标来改善土壤的物理性状,显著促进小麦的生长。然而,当前这些关于煤炭腐植酸作为土壤改良剂应用的研究仅为一些定性的报道^[11-12],而煤炭腐植酸对土壤物理性质及玉米生长发育的影响方面研究仍有不足。为此,在前人的研究基础之上,以玉米为供试作物,定性定量研究了不同用量煤炭腐植酸以及与化肥配施措施对土壤含水率、体积质量、孔隙度、土壤三相比等物理性质和玉米农艺性状及籽粒产量的影响,以期探索该地区土壤改良措

收稿日期:2018-01-19

基金项目:大庆市指导性科技计划项目(zd-2017-81)

作者简介:顾鑫(1988-),男,黑龙江讷河人。硕士,主要从事土壤改良与土壤生态方向研究。E-mail: guxin88@yeah.net

施及玉米的增产增效提供一定的科学支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区的概况

试验在黑龙江省农业科学院大庆分院试验基地(北纬 46°40'、东经 125°14')进行,试验区属于中温带大陆性季风气候,春季干旱多风,夏季高温多雨,秋季凉爽短促,冬季寒冷漫长。年均气温 3.3 ℃,最低气温一般出现在 1 月,为-37.2 ℃,最高气温一般出现在 7 月,为 38.3 ℃。年均年降水量为 426 mm,年均水面蒸发量为 972 mm,最大冻土深度 2.14 m。地势相对较低,为碟形凹地,土壤季节性的发生盐碱化,积盐-脱盐现象交替出现,土壤养分较为贫瘠,常年为雨养旱作。

1.2 试验材料与设计

本研究为田间小区试验,供试煤炭腐植酸(Coal Humic Acids, HA)来源于黑龙江省萝北县新河口腐植酸褐煤露天矿;化肥为复合型专用肥(型号 N、P₂O₅、K₂O 质量比为 28:12:10);作物为玉米(品种:先玉 335)。供试土壤和煤炭腐植酸的基本性质如表 1 所示。

表 1 供试土壤和煤炭腐植酸(HA)的基本性质

供试材料	体积质量/(g·cm ⁻³)	饱和持水率/%	电导率/(μs·cm ⁻¹)	pH 值
土壤	1.28	37.5	102.9	8.74
HA	0.43	79.1	85	5.03

试验共设 6 个处理,分别为:①对照(CK),不施肥也不施腐植酸;②单施化肥 500 kg/hm²(T1);③低量腐植酸,施量 25 000 kg/hm²(T2);④中量腐植酸,施量 50 000 kg/hm²(T3);⑤高量腐植酸,施量 100 000 kg/hm²(T4);⑥低化肥+低量腐植酸配施,施量 250 kg/hm²+25 000 kg/hm²(T5)。于 2017 年 5 月中旬播种玉米,播种前将煤炭腐植酸和化肥均匀撒施于种植小区中,单行平行种植,种植行株距为 65 cm×25 cm,每个小区种植 5 垄,各个处理采用一致田间常规灌溉、除草等管理措施。小区种植面积为 17.5 m²(5 m×3.5 m),各处理均重复 3 次。

1.3 测定项目与方法

在玉米作物完熟期时(2017 年 10 月 18 日)采集各个处理的土壤样本(深度为 0~25 cm),同时采集玉米植株样本。

测定土壤含水率(铝盒烘干法^[13],105 ℃的烘箱内将土样烘 6~8 h 至恒质量)和土壤体积质量(经典环刀法^[14]),并以此计算出土壤孔隙度和土壤三相比(即固相、液相、气相间的容积百分比)。

测量玉米植株的株高、穗位高、茎粗 3 个农艺性状指标,整株作物连根带叶用清水将其洗干净后置于 105 ℃恒温干燥箱中杀青 30 min,之后降至 75 ℃烘干至恒质量测定干物质量,并采取对角线五点取样法测定玉米籽粒的平均产量。

1.4 数据统计方法

获得的试验数据均采用 Excel 2010 进行整理,利用 SPSS 20.0 进行方差分析,运用 Duncan 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤含水率的影响

植物的生长过程离不开水分,土壤的干湿程度影响作物的生长发育,为了反映各处理土壤的干湿情况,测定了土壤含水率指标,结果如表 2 所示。由表 2 可知,T4 处理土壤含水率最高,平均为 19.2%,与 T3 处理差异不显著,却显著高于其他处理($P<0.05$),与 CK 相比,升高近 30%;T2 和 T5 处理之间土壤含水率差异不显著($P<0.05$),平均分别为 17.6%和 17.5%,却显著高于 CK 和 T1 处理($P<0.05$),与 CK 相比,升高近 18%;T1 处理土壤含水率最低,平均为 13.0%,显著低于其他处理($P<0.05$),与 CK 相比,降低近 12%。由此可见,施用煤炭腐植酸能够提高土壤含水率而单一施用化肥使土壤含水率发生了一定的降低,这是由于煤炭腐植酸自身内部疏松多孔的结构起到了良好的保水效果,使得吸持的水分缓慢释放,减少了蒸发强度,提高了土壤的含水率,而化肥往往在吸水溶解过程中提高了温度,增加土壤水分的蒸发强度,不利于土壤水分的保持。

2.2 不同处理对土壤体积质量和孔隙度的影响

土壤体积质量和孔隙度是反映土壤松紧程度的重要指标,土壤体积质量大、孔隙度小则土壤结构就相对紧实些。由表2可知,总体土壤体积质量在 $0.97\sim 1.28\text{ g/cm}^3$ 之间,各处理间均差异显著($P<0.05$),其大小顺序为 $\text{CK}>\text{T1处理}>\text{T5处理}>\text{T2处理}>\text{T3处理}>\text{T4处理}$ 。与CK相比,土壤体积质量降低 $7.8\%\sim 24.2\%$,土壤孔隙度在 $51.7\%\sim 63.3\%$ 之间,除T1和T5处理差异不显著外,其他处理间均差异显著($P<0.05$),其大小顺序为 $\text{CK}<\text{T1处理}<\text{T5处理}<\text{T2处理}<\text{T3处理}<\text{T4处理}$ 。与CK相比,孔隙度增加 $7.0\%\sim 22.4\%$,综上可以看出,施用煤炭腐殖酸和化肥均能够对土壤起到一定的疏松作用,而施用煤炭腐殖酸对土壤的疏松作用表现出更加明显的效果,这是由于煤炭腐殖酸质地较轻,弹性大,不吸水时多孔性较松软,孔隙吸水时充斥而膨胀,相对地降低了单位体积内土壤颗粒填充的机会,使得土壤体积质量降低,孔隙度增加,土壤结构得以改善。

表2 不同处理下土壤含水率、体积质量和孔隙度

处理	土壤含水率/%	土壤体积质量/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	土壤孔隙度/%
CK	$14.8\pm 0.5\text{c}$	$1.28\pm 0.01\text{a}$	$51.7\pm 0.22\text{e}$
T1	$13.0\pm 0.5\text{d}$	$1.23\pm 0.01\text{b}$	$53.6\pm 0.21\text{d}$
T2	$17.6\pm 0.4\text{b}$	$1.06\pm 0.00\text{d}$	$59.9\pm 0.13\text{c}$
T3	$18.4\pm 0.4\text{ab}$	$1.00\pm 0.02\text{e}$	$62.4\pm 0.14\text{b}$
T4	$19.2\pm 0.4\text{a}$	$0.97\pm 0.01\text{f}$	$63.3\pm 0.13\text{a}$
T5	$17.5\pm 0.3\text{b}$	$1.18\pm 0.02\text{c}$	$55.3\pm 0.12\text{d}$

注 不同字母表示处理间达到显著性差异($P<0.05$),下同。

2.3 不同处理对土壤三相相比的影响

不同处理土壤三相相比结果如图1所示。从图1可以看出,与CK相比,T1处理表现为固相率和液相率相对略有降低,气相率相对升高;其他处理表现为固相率相对明显降低,液相率相对略有降低,气相率明显相对升高。由此可以看出,随着煤炭腐殖酸添加量不断的增多,相对减少的土壤固相部分越多,反而相对增加的液相和气相部分越多,使得土壤结构变得更加疏松多孔,增强了土壤透性,在一定程度下更有利于作物的根系能够向下及四周扩散生长发育,但是如果土壤的通透性过大将会不利于土壤保温与保墒,因此煤炭腐殖酸添加的多少还应根据实际情况因地制宜,适量施用才能获得较好的改善效果。

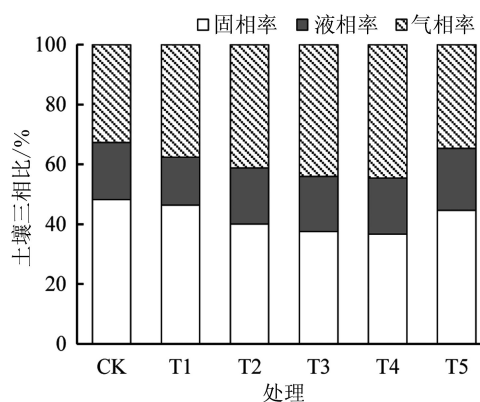


图1 不同处理土壤三相相比

2.4 不同处理对玉米生长发育的影响

不同处理对成熟期玉米植株生长发育的影响明显不同,结果如表3所示。从表3可以看出,CK株高最低,平均为 286.7 cm ,显著低于其他处理($P<0.05$);T1处理株高显著高于CK,却显著低于其他处理($P<0.05$),与CK相比,高度增加近 6% ;T3处理株高最高,平均为 329.3 cm ,但与T2、T4、T5处理差异不显著($P<0.05$),与CK相比,高度增加近 14% 。从穗位的高度来看,CK穗位高最低,平均为 94.3 cm ,显著低于其他处理($P<0.05$);其他处理之间穗位高差异不显著($P<0.05$),在 $106.7\sim 116.7\text{ cm}$ 之间。CK茎粗也最低,平均为 2.27 cm ,显著低于其他处理($P<0.05$);T5处理茎粗最高,平均为 3.03 cm ,与T3、T4处理差异不显著,却显著高于其他处理($P<0.05$)。从玉米整株干物质积累来看,以T4处理最高,平均每株 390 g ,与T3和T5处理差异不显著,却显著高于其他处理($P<0.05$);T1处理次之,平均每株 367 g ,显著高于CK和T2处理($P<0.05$);CK和T2处理分别为平均每株 316 g 和 327 g ,差异不显著($P<0.05$)。由此可见,化肥和煤炭腐殖酸均有利于作物的生长,相比之下,适量的煤炭腐殖酸更有利于促进玉米植株增高、增粗,煤炭腐殖酸通过降低土壤的体积质量和增加土壤的孔隙度,使得玉米植株长势良好。

表3 不同处理下成熟期玉米植株农艺性状

处理	株高/cm	穗位高/cm	茎粗/cm	整株干物质质量/($\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$)
CK	$286.7\pm 8.8\text{c}$	$94.3\pm 2.2\text{b}$	$2.27\pm 0.10\text{c}$	$316\pm 6.7\text{c}$
T1	$305.0\pm 7.1\text{b}$	$115.3\pm 4.8\text{a}$	$2.63\pm 0.00\text{b}$	$367\pm 1.9\text{b}$
T2	$319.3\pm 0.3\text{ab}$	$110.0\pm 3.5\text{a}$	$2.70\pm 0.10\text{b}$	$327\pm 3.8\text{c}$
T3	$329.3\pm 5.8\text{a}$	$114.0\pm 1.2\text{a}$	$2.90\pm 0.10\text{ab}$	$382\pm 6.8\text{ab}$
T4	$322.0\pm 5.0\text{ab}$	$106.7\pm 1.2\text{ab}$	$2.77\pm 0.00\text{ab}$	$390\pm 0.9\text{a}$
T5	$319.3\pm 2.4\text{ab}$	$116.7\pm 0.9\text{a}$	$3.03\pm 0.20\text{a}$	$379\pm 3.9\text{ab}$

2.5 不同处理对玉米籽粒产量的影响

不同处理对成熟期玉米籽粒产量的影响显著不同,结果如图2所示,图中不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。由图2可知,T5处理籽粒产量最高,平均为11 371.5 kg/hm²,与T3处理差异不显著,却显著高于其他处理($P<0.05$);与CK相比,T3和T5处理籽粒产量分别增加近16.8%和20%;T1处理籽粒产量为10 936.5 kg/hm²,显著高于CK、T2和T4处理($P<0.05$),与CK相比,籽粒产量增加了近15%;T2和T4处理籽粒产量差异不显著($P<0.05$),平均分别为9 960 kg/hm²和10 177.5 kg/hm²,与CK相比,两者籽粒产量分别增加近5%和7%。由此可见,适量的煤炭腐殖酸能够提高玉米籽粒的平均产量,有着化肥一样的肥效作用,利于作物的生长发育。株

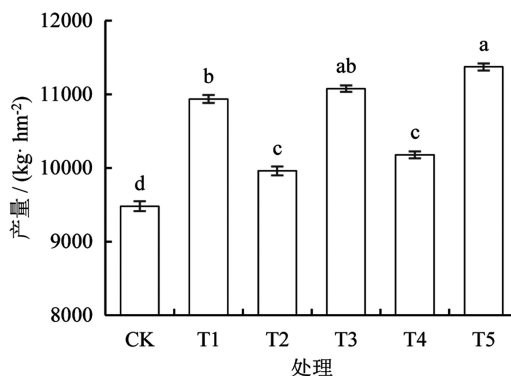


图2 不同处理下玉米籽粒产量

高和茎粗是玉米植株非常重要的农艺学性状指标,也是影响玉米籽粒产量高低的决定因素之一^[15-16],玉米植株长得枝繁叶茂、高大粗壮,更加有利于后期籽粒的充实饱满,地表土壤中科学适量地施用煤炭腐殖酸,使得土壤的物理性质有所改善,进而促进了地上玉米植株的生长发育,致使玉米籽粒产量得以显著提高。

3 讨论

土壤的物理性质通过影响土壤环境中水气状况制约着土壤微生物的活动及营养元素的供给^[17],进而影响作物的生长,土壤含水率的多少直接影响土壤对作物的供水能力^[18]。本研究表明,施用煤炭腐植酸以后显著提高了土壤含水率,这与前人的研究结果^[14,19]一致。随着施用煤炭腐植酸用量的增多土壤含水率大幅度提高,尤其高量腐植酸(T4)处理使得土壤含水率提高近30%,反而单施化肥(T1)处理不利于土壤含水率的提升。这足以说明了煤炭腐植酸对于提高土壤含水率的作用效果十分显著。土壤体积质量和孔隙度作为土壤重要的物理性质之一,与土壤松紧程度关系密切,进而改变土壤的水、肥、气、热等因素并影响作物根系的生长^[20],间接影响着土壤微生物活动和土壤酶活性的变化,已有研究表明紧实土壤中酶活性明显降低^[21],因此在体积质量小、孔隙度大的土壤上作物容易扎根生长。本研究表明,施用煤炭腐植酸显著降低了土壤体积质量、增加了孔隙度,与CK相比,土壤体积质量降低7.8%~24.2%,孔隙度增加7.0%~22.4%,对土壤起到了较好的疏松效果。施用煤炭腐植酸影响了土壤的空间结构,改变了土壤固、液、气三相的容积比例,使得土壤通气透水性发生相应改变(图1)。中量腐植酸(T3)处理和化肥与腐植酸配施(T5)处理玉米籽粒增产效果更加显著,与CK相比,T3和T5处理籽粒产量分别增加近16.8%和20%,均高于高量腐植酸(T4)处理籽粒产量,并且中量腐植酸(T3)处理植株长势明显好于高量腐植酸(T4)处理,这说明施用煤炭腐植酸有利于促进玉米的生长发育,但施用不宜过量,根据具体情况适量施用才能达到较好的效果。已有研究表明长期单一应用化肥容易导致土壤退化^[22],通过对比试验研究发现,科学合理施用煤炭腐植酸对土壤的物理性质的改善效果显著好于单一施用化肥措施,有效地防止了化肥容易引起土壤结构变差的问题,有利于玉米作物的生长发育,达到一定的节本增效的目的,然而,在本研究中煤炭腐植酸所提供营养的成分及多少等问题还将有待进一步探究。

4 结论

在大庆地区土壤中施用煤炭腐植酸对土壤的物理性质及玉米的生长发育均有影响,显著提高了土壤的含水率,降低了土壤体积质量,提高了土壤孔隙度,促进了玉米的生长发育,达到了增产的效果。本研究中,煤炭腐植酸用量为50 000 kg/hm²(中量)的处理与煤炭腐植酸用量为25 000 kg/hm²并配施化肥250 kg/hm²的处理为最适宜施用措施,改良土壤的物理性质,促进玉米生长。

参考文献:

- [1] 张国发,崔玉波,乔志和,等.田菁对大庆地区盐碱化土壤的改良效果[J].安徽农业科学,2017,45(16):119-120.
- [2] 宋丽萍,罗珠珠,李玲玲,等.陇中黄土高原半干旱区苜蓿-作物轮作对土壤物理性质的影响[J].草业学报,2015,24(7):12-20.
- [3] 单颖,赵凤亮,林艳,等.蚯蚓粪对土壤环境质量和作物生长影响的研究现状与展望[J].热带农业科学,2017,37(6):11-17.
- [4] 谷端银,王秀峰,魏珉,等.腐植酸类物质与植物抗逆性研究进展[J].山东农业大学学报(自然科学版),2016,47(3):321-326.

- [5] 罗培培, 傅雪海. 我国褐煤共生资源分析及利用方向[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(12):118-121.
- [6] NASIR S, SARFARAZ T B, VERHEYEN T V, et al. Structural elucidation of humic acids extracted from Pakistani lignite using spectroscopic and thermal degradative techniques[J]. Fuel & Energy Abstracts, 2011, 92(5):983-991.
- [7] 顾鑫, 任翠梅, 杨丽, 等. 天然煤炭腐植酸对盐碱土改良效果的研究[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(9):57-61.
- [8] 王洪凤, 吴钦泉, 谷端银, 等. 风化煤腐植酸对土壤理化性状的影响[J]. 腐植酸, 2014 (6):8-12.
- [9] 王帅, 王楠, 张晋京, 等. 煤基腐植酸吸附 Cu~(2+)特征的影响因素[J]. 水土保持学报, 2014, 28(5):270-274.
- [10] Ijaz Ahmad, Safdar Ali, Khalid Saifullah Khan, et al. 煤炭腐植酸作为土壤改良剂对土壤物理性质和小麦产量的影响[J]. 腐植酸, 2016(3):26-32.
- [11] 李冉, 封朝晖. 不同产地的腐植酸对小白菜养分利用的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2011(1):59-63.
- [12] 郭凌, 卜玉山, 张曼, 等. 煤基腐植酸对外源砷胁迫下玉米生长及生理性状的影响[J]. 环境工程学报, 2014, 8(2):758-766.
- [13] 张学礼, 胡振琪, 初士立. 土壤含水量测定方法研究进展[J]. 土壤通报, 2005, 36(1):118-123.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 第三版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [15] 石柱双, 王国栋, 吕东梅, 等. 玉米杂交种主要农艺性状的通径分析[J]. 种子科技, 2007, 25(5):49-50.
- [16] 刘强, 杨明花, 艾合买提江, 等. 11个玉米主要性状与籽粒产量的相关性通径分析[J]. 天津农业科学, 2016, 22(7):123-125.
- [17] 孙文涛, 宫亮, 包红静, 等. 不同有机无机配比对玉米产量及土壤物理性质的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(3):80-84.
- [18] J Letey, 袁剑舫. 土壤物理性质和作物生产的关系[J]. 土壤学进展, 1987, 15(1):39-44.
- [19] 叶协锋, 凌爱芬, 刘清华, 等. 腐植酸对植烟土壤理化性状影响的研究[J]. 中国农业科技导报, 2010, 12(6):120-125.
- [20] 邹洪涛, 马迎波, 徐萌. 辽西半干旱区秸秆深还田对土壤含水量、容重及玉米产量的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(4):494-497.
- [21] 李潮海, 王群, 郝四平. 土壤物理性质对土壤生物活性及作物生长的影响研究进展[J]. 河南农业大学学报, 2002, 36(1):32-37.
- [22] 张川, 柴文帅, 谢兵飞, 等. 化肥超施与土壤退化的研究[J]. 安徽农业科学, 2014(20):6 594-6 596.

The Effects of Amending Soil with Coal Humic Acid on Soil Physical Property and Physiological Growth of Maize

GU Xin, REN Cuimei, YANG Li, WANG Lina, GAO Guojin, LI Jianying, ZHU Lei, DU Zhiqiang
(Daqing Branches of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Daqing 163316, China)

Abstract: **【Objective】**The overarching objective of this paper is to experimentally elucidate the effects of amending soil with coal humic acid on soil physical properties and growth of maize. **【Method】**The variety of Xianyu 335 maize was used as model plant, and we examined six treatments: Control without any applications (CK), chemical fertilizer in one application (T1), low application of coal humic acid (T2), moderate application of coal humic acid (T3), high application of coal humic acid (T4), low fertilizer coupled with low humic acid application (T5). All experiments were conducted at the Daqing base of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences. **【Result】**Application of coal humic acid significantly increased soil water content and reduced soil bulk density. T4 had the highest soil water content with an average of 19.2%, approximately 30% higher than that under CK. The soil bulk density differed significantly between treatments ($P<0.05$), ranging between 0.97 g/cm³ and 1.28 g/cm³ with the impact of the treatment ranked in the order of CK> T1> T5> T2> T3> T4. Fertilization and coal humic acid benefited maize growth, and an appropriate application of coal humic acid promoted the plant growing to 329.3 cm high (T3), approximately 14% higher than that under CK. The average stem diameter under T5 was 3.03 cm, not significantly different from T3 and T4 but significantly bigger than other treatments ($P<0.05$). The average grain yield under T3 and T5 was 11 371.5 kg/hm² and 11 077.5 kg/hm² respectively, 16.8% and 20% respectively higher than the yield of CK. **【Conclusion】**Applying an appropriate amount of coal humic acid can improve physical and biochemical properties of soil, which is beneficial to growth and development of maize thereby increasing its yield.

Key words: humic acid; soil; maize; fertilizer

责任编辑: 赵宇龙