

粉煤灰和聚丙烯酰胺对沙质土壤中玉米生长的影响*

赵智¹ 唐泽军¹ 宋满刚² 许理¹

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083; 2. 鄂尔多斯市农牧业科学研究院, 鄂尔多斯 017000)

摘要: 以4种粉煤灰施用比(与沙土质量分数0%、5%、10%和15%)、3种聚丙烯酰胺(PAM)施用比(0、60和120 mg/kg)和不添加粉煤灰和PAM的处理为对照,探讨了粉煤灰和PAM改良沙土对玉米生长的影响,试验结果表明,施入粉煤灰和PAM后,玉米株高受到了不同程度的抑制,适量的粉煤灰和PAM促进玉米叶片的生长。5%比例粉煤灰改良处理的玉米产量较对照增加9%,但是较高比例粉煤灰(10%、15%)的施用会导致玉米减产,最高减产21%。PAM和粉煤灰联合施用能够减小高比例粉煤灰对玉米产量的抑制。单独施用粉煤灰时,5%施用量对出苗没有显著影响,而施用更高比例时会减少出苗,推迟玉米生长,这一缺点也可以通过添加PAM起到改善的效果。粉煤灰会降低沙土氮含量,而PAM能够有效增加沙土氮含量,因此添加PAM对粉煤灰改良沙土起到有效的辅助作用。

关键词: 沙土改良 玉米 粉煤灰 聚丙烯酰胺 产量

中图分类号: S156.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)06-0136-07

Effect of Sandy Soils Amendment with Fly Ash and Polyacrylamide on Corn Growth

Zhao Zhi¹ Tang Zejun¹ Song Man'gang² Xu Li¹

(1. College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Ordos Academy of Agricultural and Grazing, Ordos 017000, China)

Abstract: The experiments were conducted to investigate the effect of sandy soils amendment with fly ash and polyacrylamide (PAM) on corn growth. The experimental design factors included three fly ash application rates (weight percent of sandy soil was 0%, 5%, 10%, and 15%, respectively) and three PAM application rates (0, 60, and 120 mg/kg). Treatment added neither fly ash nor PAM was used as control treatment. The results indicated that fly ash and PAM could promote the growth of corn leaves and restrain the height of corn. The corn yield of the sandy soil amended with 5% fly ash was increased by 9% than that of the control. However, higher fly ash application rates (10% and 15%) led to a decrease in corn yield, maximum 21% compared with the control. The combination of fly ash and PAM could reduce the negative effect of fly ash at a high application rate on corn yield. There was no significant effect on germination when fly ash was applied at 5% rate in sandy soil. The utilization of fly ash at 10% or 15% rate could postpone and decrease germination rate, which could be improved by the addition of PAM. The application of PAM would add nitrogen content in the fly ash-amended soil.

Key words: Sandy soil amendment Corn Fly ash Polyacrylamide Yield

引言

黄河内蒙古河段沿岸土壤沙化严重,沙化土壤

可以通过添加粉煤灰和聚丙烯酰胺(Polyacrylamide, PAM)进行改良。

粉煤灰施入沙土能有效改善土壤水分物理条

件,Pathan等指出粉煤灰的水力传导度比壤质沙土减小105~248倍,而田间持水量是沙土的3倍^[1]。施用粉煤灰能够促进玉米、大豆等作物的生长,并提高其新陈代谢速率^[2]。粉煤灰的使用虽然能够显著改善沙土持水、保肥的能力,但是粉煤灰的安全用量一直是土壤改良和作物生长的制约因素。将粉煤灰与PAM混合使用于田间,利用PAM的凝絮作用,抑制粉煤灰改良土壤的不利因素,可以增强粉煤灰改良沙土的效果。

PAM是一种高分子聚合物。有针对鄂尔多斯地区沙土研究的结果显示,添加PAM能够增加沙土有效水含量^[3]。PAM在改善土壤环境的前提下,进一步对植物的生长以及产量产生影响。Levy等研究表明在棉花地施加PAM可增加土壤颗粒间的凝絮作用,提高棉花的产量^[4]。在玉米生育期内,添加PAM的土壤水分比对照增加5.62%~10.96%。同时,增加了PAM的土壤可以促进玉米的生长^[5]。Sojka和Entry等将PAM应用于灌溉,为植物生长提供了良好的土壤环境^[6]。

粉煤灰和PAM均能够改善沙土水分物理性质,增加作物产量。本文意在探讨粉煤灰和PAM用于沙土改良时对玉米生长的影响,并分析PAM在施加粉煤灰的土壤中对植物生长的促进作用。

1 材料与方法

1.1 试验材料

粉煤灰和PAM对玉米生长影响的试验于2011年在内蒙古自治区鄂尔多斯市达拉特旗万通农牧业科技示范园(N 40°17.853', E 110°26.696')进行。达拉特旗位于黄河南岸,毗邻库布其沙漠,土壤沙化严重。属于温带大陆性气候,年均日照时数约3 000 h,年均气温6.1~7.1°C。2011年玉米生育期内降雨量为172 mm,蒸发蒸腾量为574 mm。试验所用粉煤灰取自当地最大的达拉特电厂,所用粉煤灰pH值为10.8,粉煤灰中粘粒含量(均为质量分数)2.7%,粉粒含量69.6%,沙粒含量27.7%。试验所选农田为内黄河沿岸典型沙质土壤,其中粘粒、粉粒和沙粒的含量分别为1.5%、9.9%和88.6%。土壤的pH值为8.5(土水质量比1:5),容积密度为1.5 g/cm³。供试作物为玉米,品种为满世通507。

1.2 试验设计

试验采用田间小区试验的方法,各个小区的面积为3.2 m×4.2 m,小区边缘设有宽15 cm、高20 cm的土埂,小区之间随机排列并留有1 m宽隔离带。试验共有12个处理,如表1所示,每个处理重复3次,试验设计因素为粉煤灰的用量和PAM用量。

Adriano等在土壤中施用280、560、1 120 t/hm²粉煤灰后,土壤水分环境得到明显改善,除1 120 t/hm²粉煤灰会影响出苗外,其余使用量对作物生长没有危害^[7]。因此本试验粉煤灰的施用比例选择为低、中、高3种,与沙土质量比分别为5%、10%、15%(施用量依次约为200、400、600 t/hm²)。PAM用于种植作物时大多采用表面撒施,撒施PAM在1~2 g/m²时对植物的生长有一定的促进作用^[5,8]。考虑到本试验需要将PAM与粉煤灰混合施加于0~30 cm土壤深度,因此PAM的用量选择为60和120 mg/kg,共2种施用比例。既不使用粉煤灰也不使用PAM的处理为对照处理(CK)。粉煤灰和PAM先均匀撒施于小区表面,经过机器深耕翻土后,再经过人工翻土,均匀施加于土壤0~30 cm深度范围内。

表1 处理设置

Tab.1 Design of experiment

PAM 施用量 /mg·kg ⁻¹	粉煤灰施用量/%			
	0	5	10	15
0	CK(对照)	FA5	FA10	FA15
60	P1	FA5P1	FA10P1	FA15P1
120	P2	FA5P2	FA10P2	FA15P2

试验玉米的播种方式为人工点播,种植株行距60 cm×25 cm。玉米的出苗日期为5月23日,并于9月11日收获,生育期内灌溉方式为漫灌,生育期内共灌水440 mm,玉米生长过程中的农艺措施均采用当地平均种植水平。

1.3 玉米生长参数测量方法

出苗率:出苗率的统计开始于玉米苗高出地面2 cm时,统计小区内所有玉米出苗的比例。

株高:于每个小区内选取生长正常的玉米10株,每个处理共30株挂牌编号,每隔10 d测量一次玉米植株高度。

叶面积:于每个小区选取生长正常的玉米2株,每个处理6株,分别标记。每隔10 d记录一次玉米所有展开叶的长、宽。叶面积计算采用长宽乘法,系数取0.75。

地上干物质质量:分别于玉米生长的拔节期和成熟期各进行一次。取玉米地上部分洗净,干燥,并按照玉米不同部位称量。

产量:去掉各个小区边际的所有玉米后全部采收,测量其产量,风干后进行秃尖长、穗长及百粒质量的测量。

土壤氮含量:土壤氮元素取样深度为20 cm。样品经风干、粉碎后过0.01 mm筛。氮元素测量采用半微量凯式滴定法。

试验数据统计分析均用统计分析软件 SPSS 16.0 进行方差分析,均值的差异采用 Tukey 检验,显著性差异检验水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 出苗率

试验结果如表 2 所示,添加中、高比例(10%、15%)粉煤灰会推迟玉米出苗时间并且减少玉米的出苗率。5月23日出苗率显示,施加粉煤灰的处理出苗率较低,说明粉煤灰推迟了玉米的出苗时间。高比例粉煤灰(FA15)处理的最终出苗率(2011年5月30日)比对照减少了29.3%。添加5%比例粉煤灰处理的最终出苗率未受粉煤灰的影响,达到85%以上,属于该种子出苗率的正常范围。2011年5月23日P1、P2处理的出苗率与对照接近,因此单独使用PAM对于玉米出苗时间的影响很小,但是P1、P2处理最终的出苗率略小于对照。粉煤灰和PAM共同施用, PAM能够增加低比例粉煤灰处理的出苗,并减轻高比例粉煤灰对出苗的抑制,首先FA5P2处理的出苗率最终达到了92.2%,略高于对照处理的91.1%;其次,FA15P2处理的最终出苗率达到73.3%,FA15P1达到71.7%,虽然低于对照,但是比只添加粉煤灰的FA15处理明显提高。中比例粉煤灰的处理(FA10)无论是否添加PAM,最终出苗率均在84.5%左右。在10%比例粉煤灰下,PAM的添加对于出苗率的影响并不明显。

表 2 出苗率

Tab. 2 Seeding emergence rate %

处理名称	5月23日	5月27日	5月30日
CK	83.9	90.6	91.1
FA5	77.5	84.4	86.1
FA10	72.8	82.8	85.0
FA15	28.3	61.1	64.4
FA5P1	71.7	85.0	84.4
FA10P1	45.8	84.2	84.2
FA15P1	23.9	72.8	71.7
FA5P2	76.7	92.2	92.2
FA10P2	57.2	84.2	84.2
FA15P2	27.2	71.4	73.3
P1	81.7	91.7	85.0
P2	86.7	88.3	89.2

试验表明,添加5%粉煤灰于沙土中,玉米的最终出苗率基本不受影响,高比例粉煤灰施用会引起玉米出苗率降低,主要是由于它的强碱性和过高的含盐量。经过取样分析,CK、FA5、FA10和FA15处理土壤的pH值依次为8.90、9.31、9.37和9.49;其土壤电导率依次为166、220、301和315 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。添

加粉煤灰会使土壤碱性及电导率升高,碱性粉煤灰施用量越高,土壤pH值越高,但是随着灌溉的进行,在玉米成熟期所有处理的pH值和电导率基本恢复到与对照相同的水平。5%比例粉煤灰对土壤酸碱性及电导率的增加较小,处于植物耐受范围,因此对玉米出苗基本没有影响。

Wallace等一系列的试验发现PAM能提高莴笋、棉花和土豆的出芽率^[9-11],本试验中单独使用PAM对提高玉米的出苗率作用不明显,这可能与本试验所选土壤性质不同有关。高比例粉煤灰处理中,添加PAM能够增加玉米最终出苗率,因此PAM能够在一定程度上缓解高比例粉煤灰对玉米出苗率的影响。

2.2 株高

株高测量开始日期为2011年5月26日,结束日期为2011年8月14日。对照处理玉米株高为217.4 cm,施用5%比例粉煤灰的处理玉米最终株高为218.2 cm,与对照接近,随着单独添加粉煤灰比例升高,玉米株高逐渐减小,FA10和FA15处理的株高分别为210.6 cm和205.8 cm。单独使用PAM时,P1、P2处理的株高与对照无明显差异(图1d)。在粉煤灰施用的基础上加入PAM后,FA5P1处理的株高比FA5处理略有减小,为207.0 cm(图1a);FA10P2处理的株高较FA10减小了9.7 cm(图1b);FA15P2与FA15相比减少了16.4 cm(图1c)。联合施用PAM和粉煤灰会降低玉米株高,其减小程度随粉煤灰施用量的增加而增大。

玉米株高在生长初期先增加,然后进入缓慢生长阶段,生长基本停滞。FA5、FA5P1处理玉米株高于出苗后约65 d进入生长停滞阶段,略晚于CK和FA5P2。随着粉煤灰施用量的增加,玉米株高达到最大,进入生长停滞阶段的时间向后延迟。其中FA15处理株高生长滞后的现象最为明显,于生育期结束时也没有出现明显的生长停滞现象。混合施用120 mg/kg PAM和粉煤灰后,株高生长缓慢的现象能够得到改善,FA10P2和FA15P2处理(图1b、1c)分别于出苗后65 d和70 d左右株高的生长进入停滞阶段,但是较低施用量的PAM(60 mg/kg)改善株高生长缓慢的效果不明显。

玉米株高生长受到了中、高比例粉煤灰的影响,不同程度地出现了株高变矮和生长缓慢的现象。这主要是由于粉煤灰中常常含有较高的水溶性盐和硼,它们会对植物生长产生不利的影[12]。此外,Wong等还发现,无论是沙土还是沙壤土,施灰后,土壤的持水能力、微生物活性都会增强。但是由于粉煤灰中C、N等元素的缺乏,一段时间后,微生物的

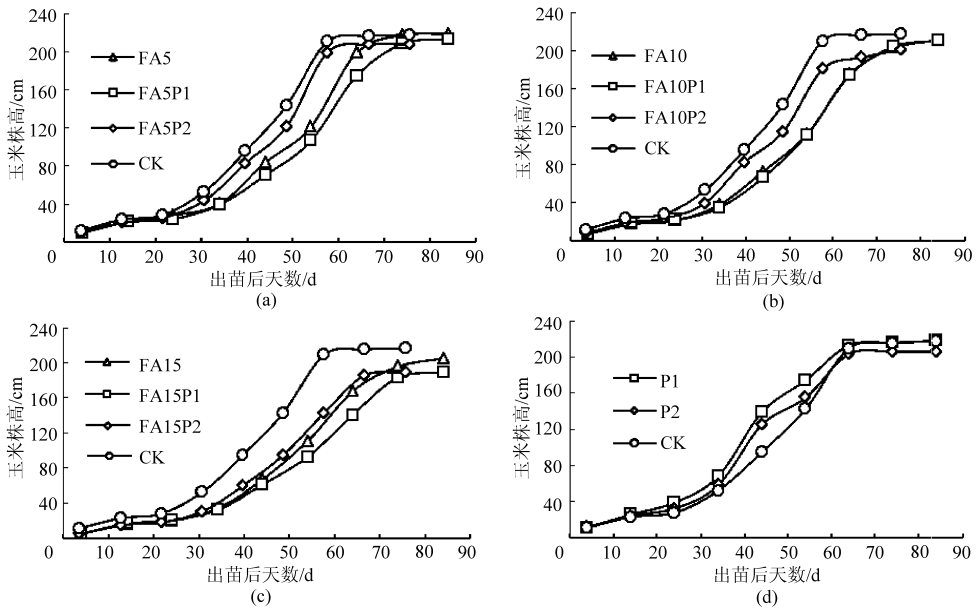


图 1 粉煤灰和 PAM 对夏玉米株高的影响

Fig. 1 Effect of fly ash and PAM on height of corn

活性可能会受到抑制^[13]。可见,玉米株高生长发生的变化,是粉煤灰影响了土壤理化环境以及微生物活动的综合表现。有不同的试验结果显示 PAM 能够增加玉米株高^[5]。这与 PAM 所施用的环境相关,由于沙土中添加粉煤灰后,土壤的化学性质发生了变化,导致 PAM 在粉煤灰改良土壤中会减小株高。

2.3 叶面积指数

叶面积指数为单株玉米展开叶总叶面积与单株玉米种植面积之比,测量开始日期为 2011 年 5 月 26 日,测量结束日期为 2011 年 9 月 4 日。生育期内玉米叶面积指数受粉煤灰和 PAM 影响显著,但是其在生育期内的变化趋势没有受到影响,所有处理

玉米叶面积指数均先增大,进入成熟期后玉米叶片逐渐失水干枯,叶面积指数又逐渐减小(图 2)。沙土加入粉煤灰后,使叶面积指数最大值有明显地提高,在出苗后 85d 左右,施灰处理 FA5、FA10、FA15 的叶面积指数最大值依次为 3.43、3.14 和 3.15,而同时期的对照处理叶面积指数只有 2.70。可见粉煤灰的施用能够促进玉米叶片的生长。单独使用 PAM 也能够明显增加玉米叶面积指数(图 2d)。

混合施用粉煤灰和 PAM 对玉米叶面积指数的作用与二者施用量相关。60 mg/kg PAM 施用量与 5% 比例粉煤灰混合,玉米叶面积指数高于对照(图 2a);120 mg/kg PAM 施用量与 10% 粉煤灰混合

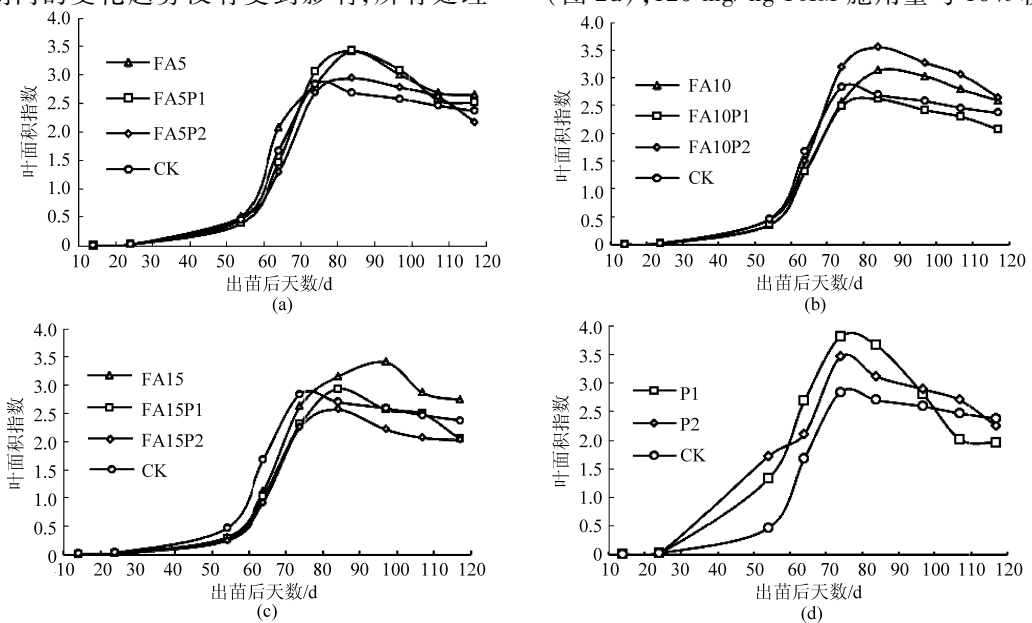


图 2 粉煤灰和 PAM 对夏玉米叶面积指数的影响

Fig. 2 Effect of fly ash and PAM on leaves area index of corn

能够显著增加叶面积指数(图 2b)。但是 FA5P2、FA10P1 处理以及在 15% 比例粉煤灰中添加 PAM 没有表现出增加叶面积指数的作用(图 2c)。

粉煤灰施用于沙土能够增加玉米叶面积指数,这主要是因为粉煤灰中含有比沙土多的大量和中量元素 Mg、K、Na 等,还含有更多的微量元素 B、Zn、Cu 等。有研究表明玉米叶面积随 PAM 施用量增大而增加,PAM 施用 2.0 g/m² 时玉米叶面积能增加 21.93%^[5],添加 5% 和 10% 比例粉煤灰后再施加 PAM 时的结果与之相似。适量 PAM 与中、低比例粉煤灰混合改良沙土可以增加玉米叶面积,但 PAM 与 15% 比例粉煤灰混合并不能够增加叶面积,这可能是由于粉煤灰用量过大,影响了 PAM 对叶面积的作用。

2.4 地上干物质质量

在拔节期,各改良处理玉米干物质质量低于对照。由表 3 看出,随着粉煤灰施用量的增高,玉米茎、叶的干物质质量逐渐降低。PAM 与粉煤灰联合施用处理的玉米茎、叶干物质略低于只施用对应比例粉煤灰的处理。在玉米成熟期,施加粉煤灰的处理能够提高玉米叶片干物质质量,其中增加最明显的为 FA10 处理,叶片干物质质量比对照处理增长了 81%。中、高比例粉煤灰对成熟期茎、穗的干物质质量有一定程度的抑制。沙土中同时加入 PAM 和粉煤灰后,与只添加粉煤灰的处理相比,玉米叶片干物质质量有所增加,而茎的干物质质量有所减小。另外,玉米成熟期,FA5、P1、P2 处理果穗干物质质量比对照略有增加。

表 3 粉煤灰和 PAM 对夏玉米地上干物质质量的影响

Tab.3 Effect of fly ash and PAM on dry

matter weight of corn

g

处理 名称	拔节期		成熟期		
	茎	叶	茎	叶	穗
CK	26.0	24.7	73.3	21.5	170.0
FA5	22.6	21.4	59.0	28.2	176.7
FA10	17.4	20.9	75.0	38.9	143.5
FA15	12.5	14.4	60.7	30.6	145.8
FA5P1	14.2	17.2	50.1	29.0	163.4
FA10P1	12.0	16.3	55.6	32.1	138.1
FA15P1	8.7	12.3	45.3	25.4	122.1
FA5P2	13.9	16.1	56.0	29.8	159.3
FA10P2	17.4	20.1	59.2	21.4	134.2
FA15P2	11.2	14.7	50.2	26.8	126.9
P1	25.1	22.5	74.6	41.5	177.2
P2	25.9	25.8	59.9	33.8	176.6

由于施用粉煤灰后,玉米的出苗、生长均比对照缓慢,因此在拔节期玉米干物质质量也小于对照。出苗率、株高和干物质质量的试验结果显示,粉煤灰

对玉米的生长速度有推迟作用。Sims 等的试验也表现出相似的结果,较低比例粉煤灰的施用会推迟玉米生长 2~3 d^[14],这主要是由于粉煤灰具有较高的 pH 值,土壤的酸碱性对土壤中金属元素的存在形式有显著影响,进而影响植物对其吸收利用。试验结果显示低比例粉煤灰可以增加成熟期玉米叶片干物质质量,但对地上干物质总质量影响并不显著。许多关于 PAM 对玉米生长的研究结果显示,适量的 PAM 对玉米物质累计有积极的作用^[15]。但是,PAM 和粉煤灰作为联合改良剂时,PAM 增加物质累计效果没有明显表现,这可能与粉煤灰的化学性质不同有关,PAM 在较高的碱性条件下作用不显著。

2.5 产量与生长参数

不同处理玉米产量和生长参数如表 4 所示。沙土施加 5% 比例粉煤灰后,玉米的产量由 9.03 t/hm² 提高到 9.81 t/hm²,增加了 9%。粉煤灰施用比例达到 10% 和 15% 时,玉米产量随粉煤灰比例的升高而减小,FA10 和 FA15 处理的玉米产量与对照相比分别减小了 1.1 t/hm² 和 1.94 t/hm²。两个只添加 PAM 处理的产量均比对照增加了约 0.9 t/hm²。中高比例粉煤灰(10%、15%)与 120 mg/kg PAM 混施,玉米产量高于只施用同种比例粉煤灰的处理,FA10P2 的产量与 FA10 相比略有增加,FA15P2 处理的产量与 FA15 相比增加了 1.03 t/hm²。沙土同时添加粉煤灰和 PAM 后对玉米百粒质量没有影响,粉煤灰加入沙土后会略微增加玉米的穗长和秃尖长。

少量粉煤灰能够增加玉米的产量,这是因为粉煤灰含有比土壤多的植物所需营养元素,同时增加了土壤含水率^[1]。然而粉煤灰使用量超过 10% 后玉米的产量却随之减少,这主要是由于粉煤灰具有较高的 pH 值和可溶性盐,当施用量比较小时,土壤化学性质依然处于作物耐受范围,对产量没有危害,粉煤灰还能为植物生长提供必要的微量元素。但是粉煤灰用量过高时,由于其强碱性和较高的含盐量推迟了玉米出苗,减少干物质累积,降低玉米株高^[16],进而玉米的最终产量也受到了影响。众多研究表明,适量添加 PAM 能够增加玉米产量^[8]。PAM 用量在 0.5~2.0 g/m² 时,玉米的产量增加 5.54%~14.13%^[5]。试验结果也显示,PAM 的添加能够缓解粉煤灰使用过量时引起的减产问题。

粉煤灰对玉米的穗长和秃尖长略有影响,这一点可能与粉煤灰中微量元素过量 and 有害元素超标有关,另一方面可能是由于粉煤灰影响了微生物的活性,土壤呼吸作用减弱有关。但是有研究表明,粉煤灰的强碱性,高含盐量和过量的有害元素会随灌溉

表4 夏玉米生长参数
Tab.4 Growth parameters of corn

PAM 施用量 /mg·kg ⁻¹	粉煤灰 施用量/%	产量 /t·hm ⁻²	株高 /cm	叶面积 指数	地上干物 质质量/g	穗长 /cm	秃尖长 /cm	百粒质量 /g
0	0	9.03 ^a	217.4 ^{ab}	2.38 ^a	274.9 ^a	19.2 ^b	1.6 ^a	32.2 ^a
	5	9.81 ^a	218.2 ^a	2.66 ^a	265.5 ^{ac}	20.5 ^a	1.9 ^a	33.2 ^a
	10	7.93 ^b	210.6 ^b	2.60 ^a	271.0 ^{bc}	20.6 ^a	2.2 ^a	28.8 ^a
	15	7.09 ^b	211.6 ^b	2.74 ^a	227.4 ^b	20.0 ^a	2.0 ^a	28.4 ^a
60	0	9.98 ^a	218.4 ^a	1.96 ^a	293.3 ^a	19.5 ^a	1.3 ^a	30.6 ^a
	5	9.20 ^a	212.6 ^a	2.52 ^a	251.5 ^b	20.4 ^a	1.7 ^a	31.5 ^a
	10	7.67 ^b	210.5 ^a	2.08 ^a	237.9 ^b	20.3 ^a	1.5 ^a	29.6 ^a
	15	6.77 ^b	189.4 ^b	2.04 ^a	202.5 ^b	19.3 ^a	2.0 ^a	25.9 ^b
120	0	9.97 ^a	206.0 ^a	2.24 ^a	270.2 ^a	19.4 ^a	0.8 ^a	30.6 ^a
	5	8.78 ^b	206.9 ^a	2.18 ^a	247.9 ^{ab}	20.7 ^a	1.8 ^a	29.2 ^a
	10	8.07 ^b	200.9 ^a	2.66 ^a	223.6 ^{ab}	19.5 ^a	2.0 ^a	28.8 ^a
	15	8.12 ^b	196.6 ^b	2.03 ^a	190.7 ^b	20.7 ^a	2.4 ^a	29.1 ^a

注:同列中不同小写字母表示处理间存在显著性差异($P < 0.05$);同列内相同 PAM 使用量的处理之间进行方差分析。

的进行逐渐回复正常范围。而微生物能够逐渐适应改良土壤的环境^[13]。

2.6 土壤氮含量

粉煤灰和 PAM 影响玉米生长的另一个重要的原因是引起了土壤中氮含量的变化,不同处理土壤中氮含量的变化见表 5。由于粉煤灰是燃烧后的产物,本身基本不含氮元素,沙土中加入粉煤灰后,土壤中全氮含量会随粉煤灰施用量的增加而呈减少的趋势。添加 5% 比例粉煤灰后,耕作层土壤当中的氮含量没有明显减少,而添加 15% 比例粉煤灰后,氮含量减少了 40%。土壤中仅施用 PAM 后,氮含量明显增加,P1 和 P2 处理分别增加了 20% 和 33%。粉煤灰和 PAM 混合处理中,PAM 能够明显改善粉煤灰降低氮含量的作用,添加 60 mg/kg 和 120 mg/kg PAM 于粉煤灰改良沙土中,土壤中氮含量都有明显增多,其中 FA5P2、FA10P2 和 FA15P2 处理的土壤氮含量较 FA5、FA10 和 FA15 分别增加了 28%、81% 和 166%。PAM 能够增加土壤中氮含

表5 耕作层土壤氮含量

Tab.5 Nitrogen content in plow layer of sandy soil

PAM 施用量 /mg·kg ⁻¹	粉煤灰施用量/%			
	0	5	10	15
0	0.40 ^a	0.32 ^b	0.27 ^c	0.24 ^c
60	0.48 ^a	0.47 ^a	0.39 ^{ab}	0.34 ^b
120	0.53 ^b	0.41 ^c	0.49 ^b	0.64 ^a

注:同一横行内相同 PAM 使用量的处理之间进行方差分析;不同小写字母表示处理间存在显著性差异($P < 0.05$)。

量的原因主要有两方面,一方面是 PAM 加入土壤后可以减少土壤氮元素淋溶损失^[17];另一方面,PAM 通过其高分子结构,能够防止有机物的分解,进而保持土壤当中的有机物含量^[18-19],增加了土壤氮含量。

3 结论

(1) 粉煤灰单独改良沙土时,施用量 5% 具有增加玉米产量、叶面积、株高、穗长及百粒质量的效果,但粉煤灰施用量 10% 和 15% 时对玉米的生长有一定的抑制作用,主要表现为株高较矮,生长缓慢。此外,10% 比例粉煤灰施用能够促进玉米叶片生长。粉煤灰施用量过高时对玉米的生长及产量都有负面的影响。综合分析,单独使用粉煤灰作为沙土改良剂时,适宜的粉煤灰施用量为不超过 5%。

(2) PAM 单独改良沙土时能够有效增加玉米的出苗率、玉米叶面积指数和地上干物质质量,而对玉米株高的影响并不显著。单独使用 PAM 改良沙土时,对玉米产量有一定促进作用,120 mg/kg 与 60 mg/kg 的施用量相比对玉米生长没有明显的促进优势,可选择 60 mg/kg 施用量。

(3) PAM 与粉煤灰作为联合改良剂时,添加 PAM 能够缓解中、高比例粉煤灰引起的一些不利影响,为较高比例粉煤灰应用于农业生产提供可能性。PAM 在粉煤灰改良的沙土中可以改善土壤含水率、提高粉煤灰改良土壤氮含量,由此增加中、高比例粉煤灰处理的出苗率、叶面积和产量等。

参 考 文 献

- 1 Pathan S M, Aylmore L A G, Colmer T D. Properties of several fly ash materials in relation to use as soil amendments[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2003,32(2): 687 ~ 693.
- 2 Mishra L C, Shukla K N. Effect of fly ash deposition on growth, metabolism and dry matter production of maize and soybean[J]. *Environmental Pollution Series A: Ecological and Biological*, 1986,42(1): 1 ~ 13.
- 3 李杨,王百田.高吸水性树脂对沙质土壤物理性质和玉米生长的影响[J].*农业机械学报*,2012,43(1):76 ~ 81.
Li Yang, Wang Baitian. Influence of superabsorbent polymers on sandy soil physical properties and corn growth[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012,43(1): 76 ~ 81. (in Chinese)
- 4 Levy G J, Ben-Hur M, Agassi M. The effect of polyacrylamide on runoff, erosion, and cotton yield from fields irrigated with moving sprinkler systems[J]. *Irrigation Science*, 1991,12(2): 55 ~ 60.
- 5 Wei X D, Yuan X F, Li Y M, et al. Research on the water-saving and yield-increasing effect of polyacrylamide[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2011,11(part B): 573 ~ 580.
- 6 Sojka R E, Entry J A. Influence of polyacrylamide application to soil on movement of microorganisms in runoff water[J]. *Environmental Pollution*, 2000,108(3): 405 ~ 412.
- 7 Adriano D C, Weber J T. Influence of fly ash on soil physical properties and turfgrass establishment[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2001, 30(2): 596 ~ 601.
- 8 员学锋,吴普特,冯浩.聚丙烯酰胺(PAM)的改土及增产效应[J].*水土保持研究*,2002,9(2):55 ~ 58.
Yuan Xuefeng, Wu Pute, Feng Hao. Role of polyacrylamide on soil structure and increasing yield[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2002,9(2): 55 ~ 58. (in Chinese)
- 9 Wallace A, Wallace G A. Effect of polymeric soil conditioners on emergence of tomato seedlings[J]. *Soil Science*, 1986,141(5): 321 ~ 323.
- 10 Wallace A, Wallace G A. Effect of polymeric soil conditioners on emergence and growth of tomato, cotton, and lettuce seedlings [J]. *Soil Science*, 1986,141(5): 313 ~ 316.
- 11 Wallace A, Wallace G A, Abouzamzam A M, et al. Effects of polyacrylamide soil conditioner on the iron status of soybean plants [J]. *Soil Science*, 1986,141(5): 368 ~ 370.
- 12 苏德纯,张福锁,Wong J W C.粉煤灰钝化污泥对土壤理化性质及玉米重金属累积的影响[J].*中国环境科学*,1997,17(4):321 ~ 325.
Su Dechun, Zhang Fusuo, Wong J W C. Effects of application of sewage sludge stabilized by coal fly ash on soil physicochemical properties and heavy metal accumulation in corn[J]. *China Environmental Science*, 1997,17(4): 321 ~ 325. (in Chinese)
- 13 Wong M H, Wong J W C. Effects of fly ash on soil microbial activity[J]. *Environmental Pollution Series A: Ecological and Biological*, 1986,40(2): 127 ~ 144.
- 14 Sims J T, Vasilas B L, Ghodrati M. Evaluation of fly ash as a soil amendment for the Atlantic coastal plant: II. Soil chemical properties and crop growth[J]. *Water, Air & Soil Pollution*, 1995,81(3 ~ 4): 363 ~ 372.
- 15 唐泽军,雷廷武,赵小勇,等.PAM改善黄土水土环境及对玉米生长影响的田间试验研究[J].*农业工程学报*,2006,22(4): 216 ~ 219.
Tang Zejun, Lei Tingwu, Zhao Xiaoyong, et al. Impacts of polyacrylamide application on soil water status of loess and the growth of corn[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006,22(4): 216 ~ 219. (in Chinese)
- 16 Shukla K N, Mishra L C. Effect of fly ash extract on growth and development of corn and soybean seedlings[J]. *Water, Air & Soil Pollution*, 1986,27(1 ~ 2): 155 ~ 167.
- 17 员学锋,汪有科,吴普特,等.聚丙烯酰胺减少土壤养分的淋溶损失研究[J].*农业环境科学*,2005,24(5):929 ~ 934.
Yuan Xuefeng, Wang Youke, Wu Pute, et al. Effects of polyacrylamide application on the decrease of soil fertilizer and its mechanism[J]. *Journal of Agro-environment Science*, 2005,24(5):929 ~ 934. (in Chinese)
- 18 Goebel M O, Bachmann J, Woche S K, et al. Soil wettability, aggregate stability, and the decomposition of soil organic matter [J]. *Geoderma*, 2005,128(1 ~ 2): 80 ~ 93.
- 19 John B, Yamashita T, Ludwig B, et al. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use[J]. *Geoderma*, 2005,128(1 ~ 2): 63 ~ 79.