

孙凯文,施凯峰,时佩佩,等. 碳调节剂对次生盐渍化土壤理化性质及白菜幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(2):206-208.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.02.059

# 碳调节剂对次生盐渍化土壤理化性质 及白菜幼苗生长的影响

孙凯文<sup>1</sup>, 施凯峰<sup>1</sup>, 时佩佩<sup>1</sup>, 戴叶亮<sup>1</sup>, 夏雨薇<sup>1</sup>, 盛海君<sup>1,2</sup>, 钱晓晴<sup>1</sup>

(1. 扬州大学环境科学与工程学院, 江苏扬州 225127; 2. 江苏省有机固体废弃物资源化协同创新中心, 江苏南京 210095)

**摘要:**为了解决蔬菜大棚土壤次生盐渍化问题,通过向次生盐渍化土壤中添加碳调节剂,并对培养后土壤中种植的白菜实际生长过程进行考察,探讨碳调节剂对次生盐渍化土壤理化性质及白菜幼苗生长的影响。结果表明,添加碳调节剂可明显降低土壤中可溶性盐含量;随着碳调节剂用量的增加,土壤容重逐渐减小,孔隙度逐渐增加;土壤有机质、速效钾、速效磷含量也明显增加;铵态氮含量变化趋势不明显;硝态氮含量则显著下降;碳调节剂用量在 T2 处理时最有利于白菜生长,此时白菜生物量、根系特征参数如根长、根表面积、根体积等最大。综合考虑白菜产量和硝酸盐含量安全卫生标准,在本试验条件下,碳调节剂用量在 T2 和 T3 之间比较合理。

**关键词:**碳调节剂;适宜用量;次生盐渍化土壤;理化性质;白菜;可溶性盐;硝酸根;幼苗生长

**中图分类号:** S634.306; S156.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)02-0206-03

目前蔬菜大棚土壤的盐渍化问题非常普遍,且日益严重,不但影响蔬菜的食用品质,而且直接影响农民的经济收入。当蔬菜大棚土壤发生次生盐渍化后,其在物理性质上,土壤耕作层变浅,土壤板结,透水透气性下降;在化学性质上,土壤酸化,  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{NO}_3^-$  含量显著增加。同时,由于盐渍化的危害,蔬菜作物生长通常表现为植株矮小,发育迟缓,产量严重降低<sup>[1-2]</sup>;盐害严重时会导致植株的发芽率过低<sup>[3-9]</sup>。并且由于土壤中存在过多的硝酸盐,蔬菜在生长过程中会大量积累硝酸盐,食用这一类蔬菜更会对人体健康产生危害<sup>[10-11]</sup>。

虽然目前已有多种快速解决土壤次生盐渍化的方法<sup>[12-14]</sup>,但一些措施会给周围环境带来二次污染<sup>[15-16]</sup>,如淹水排盐虽然可以将大部分盐淋洗出土壤表层,但这种措施增加了对地下水和地表水的污染,同时在高温、日照的条件下,硝酸盐又会随水分的蒸发而表聚,并不能完全解决次生盐渍化问题<sup>[17]</sup>。从氮素资源利用方面来说,这样的处理并不符合当代农业可持续发展的需求<sup>[17-21]</sup>。

本试验以江苏常州某蔬菜大棚发生次生盐渍化的表层 0~20 cm 的土壤作为研究对象,向土壤中添加由秸秆和菌剂制备成调节剂,在培养过程中对土壤的理化性质加以测定,并在稳定后采用盆栽试验的方式对植物的实际生长状况进行考察,从而探究碳调节剂对次生盐渍化土壤的改良效果。

## 1 材料与方法

收稿日期:2015-01-18

基金项目:国家重点基础研究发展计划(编号:2013CB127404);江苏省苏北科技发展规划(编号:BN2012004)。

作者简介:孙凯文(1989—),男,江苏盐城人,硕士研究生,主要从事植物营养与环境研究。E-mail:861077941@qq.com。

通信作者:盛海君(1966—),女,江苏宜兴人,高级农艺师,主要从事有机固废资源化利用研究。E-mail:hjsheng@yzu.edu.cn。

试验于 2014 年 9—11 月在扬州大学人工气候室中进行。

### 1.1 试验材料

试验土壤取自常州某发生次生盐渍化问题的蔬菜大棚中表层 0~20 cm 的土壤,其有机质含量 19.4 g/kg、全氮含量 1.841 g/kg、硝态氮含量 825 mg/kg、铵态氮含量 13.6 mg/kg、速效磷含量 131.236 mg/kg、速效钾含量 158.934 mg/kg、可溶性盐含量 10.689 g/kg(电导率 1 528  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )。试验前风干、磨细、过筛。

碳调节剂的主要成分为秸秆粉(成熟期小麦秸秆磨成的粉末)和快腐菌剂。其中,快腐菌剂(南京宁粮生物工程有限公司生产的秸秆速腐剂)可以促进秸秆粉末快速分解,为土壤中微生物的繁殖提供大量的可利用碳源;秸秆粉中有机碳含量 450 g/kg、全氮含量 7.94 g/kg、磷含量 0.91 g/kg、钾含量 17.83 g/kg;无孔塑料盆,避免因浇水导致可溶性盐随水流失;蔬菜为白菜(苏州青)。

### 1.2 试验设计

1.2.1 土壤培养试验 试验设有 5 个处理,即 50 g 秸秆 + 20 g 菌剂 + 7.0 kg 土壤(T1)、100 g 秸秆 + 20 g 菌剂 + 7.0 kg 土壤(T2)、150 g 秸秆 + 20 g 菌剂 + 7.0 kg 土壤(T3)、200 g 秸秆 + 20 g 菌剂 + 7.0 kg 土壤(T4)以及不加调节剂的土壤作为对照(CK)。试验土壤充分搅拌均匀并保持土壤的含水量在 25% 左右,在盆口覆盖保鲜膜以减少水分蒸发,在 25~35  $^{\circ}\text{C}$  条件下连续培养 30 d,培养结束后取样测定土壤的容重、毛管孔隙度、可溶性盐含量及组成、有机质含量、速效氮含量、速效磷含量、速效钾含量等。

1.2.2 白菜盆栽试验 培养稳定后进行白菜盆栽试验,装培养土 1.5 kg/盆,均匀播种 100 粒白菜种子,重复 3 次。播种后洒水至土壤湿润,之后视土壤状况适时补水。1 周后计算出苗率并间苗,均匀留幼苗 30 株/盆;20 d 后取样,分析测定白菜生物量、根系参数、茎叶中  $\text{NO}_3^-$  含量等。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤理化性质的测定 采用环刀法对土壤的容重与毛管孔隙度进行测定;土壤水溶性盐含量采用水土比 5 : 1 浸提获得待测液,使用盐分计测定电导率;采用火焰分光光度法对 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 含量进行测定;火焰原子吸收法对 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 含量进行测定;采用中和滴定法测定 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量;采用硝酸银滴定法测定 Cl<sup>-</sup> 含量;采用硫酸钡比浊法测定 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量;采用紫外分光光度法测定 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量。

1.3.2 土壤有机质及硝态氮、铵态氮、速效磷、速效钾养分含量的测定 重铬酸钾容量法 - 外加热法测定土壤有机质的含量;紫外分光法测定硝态氮含量;靛酚蓝比色法测定土壤铵态氮的含量;钼蓝比色法测定土壤速效磷的含量;速效钾含量采用火焰光度法进行测定。

1.3.3 白菜根系参数分析 各处理采样后用流水冲洗白菜根系,运用数字化扫描仪( STD1600 Epson USA )对根系图像进行扫描,并采用与扫描仪配套的 WinRHIZO( Version 5.0a )根系分析系统( WinRhizo regent instruments, Canada )进行分析,测定植株的根表面积、根长、根体积、根平均直径、根尖数等根系参数。

1.3.4 白菜鲜质量(包括地上部和地下部)、茎叶中硝酸根含量 生物量采用鲜质量称重法测定;硝酸盐含量用水杨酸法进行测定。

1.3.5 数据分析与统计方法 采用 Excel 2003 软件对数据进行处理和绘图,并采用 SPSS 统计软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 碳调节剂对土壤理化性质的影响

通过土壤容重的测定,可以估算出土壤的有机质含量、质地状况以及土壤结构的好坏。试验结果(表 1)表明,随着碳

调节剂用量的增加,土壤容重逐渐减小,土壤孔隙度逐渐增加,可溶性盐含量逐渐下降,与 CK 相比差异均达到极显著水平。

表 1 各处理土壤理化性质

处理	容重 (g/cm <sup>3</sup> )	毛管孔隙度 (%)	可溶性盐含量 (g/kg)	电导率 (μS/cm)
CK	0.97bB	58.33aA	8.76eE	1 641eE
T1	0.91abAB	59.84B	8.24dD	1 508dD
T2	0.92abAB	60.64bB	7.05cC	1 003cC
T3	0.90abAB	62.56cC	4.91aA	771bB
T4	0.86aA	65.40dD	5.02bB	670aA

注:同列数据后的不同大写、小写字母分别表示处理间差异达极显著(P<0.01)、显著(P<0.05)水平。表 2 至表 5 同。

通过对表 2 中盐分组成的结果进一步分析发现,当土壤加入碳调节剂进行一定时间培养后,碳调节剂用量最大(T4 处理)可使土壤的可溶性盐总量减少 42.69%;与 CK 相比,阳离子中 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 含量显著增加,其中 K<sup>+</sup> 含量增加尤其明显,主要是秸秆中大量的钾元素释放所导致的,Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 含量减少,其中钙含量减少极其明显;阴离子中,HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量显著增加,而 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量大幅降低,与 CK 相比,T4 处理中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 下降 92.34%,同时由于 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 是离子中含量最高的,约占整个离子总量的 48.78%,由此可以推断导致可溶性盐下降的主要原因是 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量的降低。

2.2 碳调节剂对土壤有机质及速效养分含量的影响

培养 30 d 后,土壤中有有机质及速效养分的测定结果如表 3 所示,土壤有机质、速效磷、速效钾含量随碳调节剂用量的增加而增加;铵态氮含量在添加碳调节剂后变化规律不明显;硝态氮含量显著下降。

表 2 各处理土壤可溶性盐分离子组成

处理	可溶性盐分离子含量(mg/kg)							
	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
CK	103.13aA	186.23cC	1 658.30dD	307.64dD	4 273.7dD	31.23aA	444aA	1 759.31aA
T1	145.85bB	169.55aA	1 570.79cC	284.13cC	3 648.21cC	80.65bB	490bB	1 851.76bB
T2	207.32cC	180.90bcBC	1 348.39bB	239.39bB	2 328.12bB	113.55cC	511cB	2 126.49cC
T3	242.47dD	177.59bB	874.59aA	175.89aA	366.16aA	289.33dD	609dC	2 166.01cC
T4	302.13eE	177.60bB	871.87aA	180.72aA	327.21aA	326.91eE	675eD	2 166.48cC

表 3 各处理土壤有机质及速效养分含量

处理	有机质含量 (g/kg)	铵态氮含量 (mg/kg)	硝态氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
CK	16.52aA	7.12abA	886.44dD	136.51bB	251.08aA
T1	16.79aA	6.49aA	705.77cC	132.36aA	359.60bB
T2	21.42bB	7.47abA	252.77bB	160.87cC	483.39cC
T3	21.62bB	11.52dC	34.83aA	176.60cC	559.21dD
T4	25.98cC	9.41cB	38.65aA	200.62dD	646.70eE

2.3 碳调节剂用量对白菜出苗率、生物量及 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量的影响

表 4 表明,在本试验条件下,碳调节剂用量对白菜出苗影响明显,与 CK 相比,随碳调节剂用量的增加,白菜出苗率显著提高。植株取样分析结果表明,随碳调节剂用量的增加,白菜幼苗鲜质量(包括根、茎叶质量)呈先增加后下降的趋势,

其中,T2 最大,为 1.128 g/株,较对照增加 1 488.7%,而 T4 处理只有 0.058 g/株,较对照下降 18.3%。硝酸盐含量随碳调节剂用量的增加而逐渐减少。

表 4 碳调节剂用量对白菜出苗率、生物量及 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量的影响

处理	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 含量 (mg/kg)	平均出苗率 (%)	生物量(g/株,FW)		
			茎叶质量	根质量	总质量
CK	7 796eE	4.44aA	0.051	0.020	0.071
T1	7 575dD	33.89bB	0.418	0.016	0.434
T2	6 157cC	81.67cC	1.112	0.016	1.128
T3	1 860bB	90.00cC	0.060	0.005	0.065
T4	1 373aA	93.33cC	0.053	0.005	0.058

2.4 碳调节剂用量对白菜幼苗根系特征参数的影响

根系分析结果(表 5)表明,随碳调节剂用量的增加,白菜

幼苗的根尖数(根条数)、根长、根表面积、根体积均呈先增加后下降的趋势,与 CK 相比,T2、T3 处理优势最明显;当碳调节剂用量达到 200 g/盆(T4 处理)时,白菜幼苗根尖数(根条数)、根长、根表面积、根体积均极显著下降。说明可通过碳调节剂用量来降低土壤可溶性盐含量,从而促进白菜根系生长,在一定范围内(T2 ~ T3 处理),碳调节剂用量越高,促进根系生长的作用越明显。

表 5 碳调节剂用量对白菜幼苗根系特征参数的影响

处理	根尖数 (个/株)	根长 (cm/株)	根表面积 (cm <sup>2</sup> /株)	根体积 (cm <sup>3</sup> /株)	平均根直径 (mm/株)
CK	9.33aA	5.13aA	0.61aA	0.006 0aA	0.37cC
T1	18.6aA	8.42aA	1.05abAB	0.010 6abAB	0.39cC
T2	44.08bB	30.27cB	3.03dD	0.242 5cC	0.32bA
T3	37.25bB	23.56bcB	2.12cC	1.015 5bB	0.30abA
T4	37.10bB	19.41bB	1.69bcBC	0.011 7abAB	0.28aA

3 小结

3.1 碳调节剂用量对次生盐渍化土壤理化性质的影响

蔬菜大棚由于过于依赖氮肥的施用,造成营养元素不平衡<sup>[3]</sup>。本试验随着碳调节剂用量的增加,土壤速效钾得到充分的补充,最大量处理(T4)使土壤水溶性钾含量在原有基础上提高了 2 倍(表 3),同时土壤有机质、速效磷、速效钾含量也明显增加。根据杜连凤等的试验结果可知,施用腐熟秸秆可一定程度上增加土壤各盐分含量<sup>[16]</sup>。但本试验结果表明,土壤中可溶性盐含量随着碳调节剂用量的增加而逐渐降低,本试验说明碳调节剂的增加可以降低土壤中的盐含量,同时可以显著改善因施肥不当而造成营养元素不平衡的问题。

3.2 碳调节剂适用量的确定

蔬菜生长对盐分含量具有一定的范围要求,并不是盐含量越低越好<sup>[1]</sup>。本试验随着碳调节剂用量的增加,各处理的可溶性盐含量逐渐降低。采用盆栽试验对植物在处理后的土壤里的实际生长过程进行研究,发现碳调节剂用量对白菜幼苗的生长具有明显的影响,其中 T2 处理的白菜茎叶生物量、根系各项特征参数及叶绿素积累量具有最明显的优势,但 T4 处理的各项指标都呈明显下降趋势,说明盐含量并不是越低越好,而应具有一定的范围要求。

目前人们食用的蔬菜大多硝酸盐含量超标,对人体健康具有严重的危害<sup>[3]</sup>。本试验中 T3、T4 处理达到我国蔬菜硝酸盐污染程度和卫生评价标准的要求(3 100 mg/kg),允许熟食。综合考虑白菜产量和食用品质,本试验推荐碳调节剂用量在 T2 和 T3 之间。

本试验结果表明,通过添加碳调节剂可显著降低土壤中可溶性盐含量;随着碳调节剂用量的增加,土壤容重逐渐减小,孔隙度逐渐增加,可以较好地改变土壤物理性质;土壤有机质、速效磷、速效钾含量明显增加;而硝态氮含量则显著下降。碳调节剂用量在 T2 处理时最有利于白菜生长,此时白菜生物量、根系特征参数如根长、根表面积、根体积等最大。综合考虑白菜产量和硝酸盐含量安全卫生标准,本试验条件下

推荐碳调节剂用量在 T2 和 T3 之间。

参考文献:

[1]田霄鸿,王朝辉,李生秀. 不同氮素形态及配比对蔬菜生长和品质的影响[J]. 西北农业大学学报,1999,27(2):9-13.

[2]杜连凤,武淑霞,刘建玲. 腐熟秸秆有机肥改良土壤次生盐渍化研究[J]. 中国农学通报,2005,21(8):224-225,255.

[3]李吉洲. 大棚土壤盐害对蔬菜生长的影响[J]. 现代农业,2012(9):33.

[4]郭文忠,刘声锋,李丁仁,等. 设施蔬菜土壤次生盐渍化发生机理的研究现状与展望[J]. 土壤,2004,36(1):25-29.

[5]薛继澄,毕德义,李家金,等. 保护地栽培蔬菜生理障碍的土壤因子与对策[J]. 土壤肥料,1994(1):4-9.

[6]王 辉,董元华,李德成,等. 不同种植年限大棚蔬菜地土壤养分状况研究[J]. 土壤,2005(4):460-462.

[7]韩 冰,徐 刚,郭世荣,等. 不同浓度盐胁迫对黄瓜幼苗生长和生理代谢的影响[J]. 江苏农业学报,2014,30(1):172-177.

[8]李 刚,张乃明,毛昆明,等. 大棚土壤盐分累积特征与调控措施研究[J]. 农业工程学报,2004,20(3):44-47.

[9]陈 昱,樊平声,冯伟民,等. 外源硅对盐胁迫下黄瓜幼苗生长和光合荧光特性的影响[J]. 江苏农业学报,2014,30(6):1402-1409.

[10]杨晓英,杨劲松. 氮素供应水平对小白菜生长和硝酸盐积累的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(1):160-163.

[11]王 辉,董元华,安 琼,等. 高度集约化利用下蔬菜地土壤酸化及次生盐渍化研究——以南京市南郊为例[J]. 土壤,2005,37(5):68-71.

[12]刘 森,夏加宏,刘裕岭. 蔬菜大棚土壤盐渍化的原因及对策[J]. 上海蔬菜,2004(1):52.

[13]施毅超,胡正义,龙为国,等. 轮作对设施蔬菜大棚中次生盐渍化土壤盐分离子累积的影响[J]. 中国生态农业学报,2011(3):548-553.

[14]李尚科,沈根祥,郭春霞,等. 有机肥及秸秆对设施菜田次生盐渍化土壤修复效果研究[J]. 广东农业科学,2012(2):60-62,73.

[15]张乃明,李 刚,苏友波,等. 滇池流域大棚土壤硝酸盐累积特征及其对环境的影响[J]. 农业工程学报,2006,22(6):215-217.

[16]沈根祥,杨建军,黄沈发,等. 塑料大棚盐渍化土壤灌水洗盐对水环境污染负荷的研究[J]. 农业工程学报,2005,21(1):124-127.

[17]范庆锋,张玉龙,杨春璐,等. 灌溉方法对蔬菜大棚土壤盐渍化及酸化的影响[J]. 贵州农业科学,2013(12):115-118.

[18]冯孝善,闵 航. 关于土壤微生物的矿质化作用与同化作用的问题[J]. 土壤通报,1982,9(1):44.

[19]孙 博,解建仓,汪 妮,等. 秸秆覆盖对盐渍化土壤水盐动态的影响[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(4):180-184.

[20]朱余清,王 军,崔素兰. 不同使用年限蔬菜大棚土壤盐渍化程度及其改良措施[J]. 江苏农业科学,2011,39(5):482-485.

[21]余海英,李廷轩,周健民. 设施土壤次生盐渍化及其对土壤性质的影响[J]. 土壤,2005,37(6):581-586.