

# 木醋液配施生物炭对盐碱土壤理化特性和甜菜产量及品质的影响

杨肖飞, 李望舒, 王树峰, 王超, 赵翎华, 于新睿,  
庄延龙, 王玉波, 张鹏飞, 李彩凤\*

(东北农业大学农学院, 黑龙江 哈尔滨 153030)

**摘要:** 以甜菜品种 KWS 1176 为试验材料, 在黑龙江省肇东市尚家镇五间村盐碱地 ( $\text{Na}^+$  含量为  $203.33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , pH 值 8.92) 进行小区试验。试验设 4 个处理, 不施加木醋液 (CK)、木醋液  $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  (BW1)、 $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  (BW2) 和  $900 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  (BW3), 各个处理均施用生物炭 (玉米秸秆), 用量为  $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。研究表明, 木醋液配施生物炭显著提高土壤比表面积 (提升 1.39% ~ 4.86%) 和含水率, 降低土壤 pH 和电导率; 显著提高当季土壤有机质和养分 (碱解氮、有效磷) 含量, 播后 58 d 土壤有机质和养分提升效果显著, 其中碱解氮含量、有效磷含量和有机质含量分别提升 14.24% ~ 26.87%、21.17% ~ 32.09% 和 2.51% ~ 41.19%。BW2 处理土壤中  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Cl}^-$  含量显著提高, 可溶性  $\text{Na}^+$  和  $\text{HCO}_3^-$  含量显著降低; 显著提高甜菜块根产量和品质, 降低块根中钠盐含量、钾盐含量和  $\alpha$ -氨基态氮含量, 比 CK 处理块根产量提升 5.32% ~ 15.29%, 块根含糖率提升 0.31% ~ 0.84%。综合分析, BW2 对改善当季盐碱土壤理化特性及甜菜块根产量和品质效果最佳。

**关键词:** 甜菜; 盐碱土壤; 木醋液; 生物炭; 土壤理化性质; 块根产量

甜菜 (*Beta vulgaris* L.) 是我国重要的糖料作物, 现种植范围主要分布在我国西北、华北和东北等地区<sup>[1]</sup>。随着国民日常生活对糖类物质的需求不断提高, 合理扩大种植面积并提高甜菜产量和品质对促进我国糖料作物分布和提高糖类物质产出具有重要意义。甜菜具有较强的耐盐碱特性, 充分利用这一特性, 对缓解经济作物与粮食作物争地矛盾, 提高盐碱地利用率具有极高价值<sup>[2]</sup>。虽然甜菜对盐碱环境具有较强的适应性, 但在土壤盐碱程度较高的情况下, 仍会影响甜菜生长和后期糖分积累, 降低甜菜块根的产量和品质。因此, 高效利用盐碱地, 改善土壤理化性质, 降低盐碱胁迫对甜菜生长的危害和产量的损失成为目前研究的重点和趋向。

生物炭是以农林废弃物等生物质为原料在缺氧条件下热裂解形成的富碳有机物质<sup>[3]</sup>。前人研究发现, 生物炭在改善土壤理化性质、增加作物产量等

方面具有显著的作用<sup>[4-5]</sup>。木醋液是植物性原料经过炭化或干馏而生成的一种具有酸、醛、酮、醇等多种有机物质的酸性液体, 且被广泛应用的土壤改良剂<sup>[6]</sup>, 其在改善土壤理化性质<sup>[7]</sup>、降低土壤 pH 值<sup>[8]</sup>、提高土壤有机质<sup>[9-10]</sup>、增加土壤微生物和土壤团聚体等方面具有显著效果。胡世龙等<sup>[11]</sup>对不同氮素水平下水稻喷施木醋液, 显著提高了水稻的产量和品质。胡苗苗等<sup>[12]</sup>在生物炭配施木醋液追肥的研究中表明, 追施木醋液后土壤养分含量和棉花产量显著增高。武沛然等<sup>[13]</sup>研究发现, 在盐碱胁迫下施加 3% 的生物炭甜菜块根产糖量最高。因此, 本研究生物炭用量以此为基础, 结合施用不同浓度木醋液, 探讨木醋液配施生物炭对当季盐碱土壤理化特性和甜菜产量、质量的作用效果, 为促进盐碱地甜菜优质高产栽培提供理论依据和技术参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试甜菜品种为德国 KWS 公司培育的 KWS 1176 品种 (较耐盐碱)。供试生物炭 (玉米秸秆在高温  $600^\circ\text{C}$  制备) 与木醋液 (pH 值为 3.2) 均由东

收稿日期: 2023-06-08; 录用日期: 2023-08-05

基金项目: 国家自然科学基金 (31671622); 国家糖料产业技术体系 (ARS-170201)。

作者简介: 杨肖飞 (1999-), 硕士研究生, 主要从事甜菜栽培生理研究。E-mail: s210301014@neau.edu.cn。

通讯作者: 李彩凤, E-mail: liclifeng@neau.edu.cn。

北农业大学资源与环境学院生态课题组提供。

## 1.2 试验设计

试验于 2021 年在黑龙江省肇东市尚家镇五间

村 (46° 26' N, 125° 99' E) 盐碱地进行。试验地土壤基础理化性质见表 1, 甜菜生长期有效活动积温为 2686.9 °C, 总降水量为 559.2 mm。

表 1 试验地土壤基础理化性质

项目	参数	项目	参数	项目	参数
土壤含水率 (%)	29.86	碱解氮 (mg · kg <sup>-1</sup> )	160.84	K <sup>+</sup> (mg · kg <sup>-1</sup> )	12.59
土壤容重 (g · cm <sup>-3</sup> )	1.4	有效磷 (mg · kg <sup>-1</sup> )	11.01	Ca <sup>2+</sup> (mg · kg <sup>-1</sup> )	17.40
pH	8.92	速效钾 (mg · kg <sup>-1</sup> )	105.70	Mg <sup>2+</sup> (mg · kg <sup>-1</sup> )	66.46
电导率 (dS · m <sup>-1</sup> )	0.37	有机质 (g · kg <sup>-1</sup> )	29.79	Cl <sup>-</sup> (mg · kg <sup>-1</sup> )	86.14
碱化度 (%)	21.69	Na <sup>+</sup> (mg · kg <sup>-1</sup> )	203.33	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg · kg <sup>-1</sup> )	7.66
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg · kg <sup>-1</sup> )	191.64	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg · kg <sup>-1</sup> )	244.36	全氮 (g · kg <sup>-1</sup> )	1.65
全磷 (g · kg <sup>-1</sup> )	0.67	全钾 (g · kg <sup>-1</sup> )	14.90		

试验采用完全随机区组设计, 设 4 个处理: 不施加木醋液 (CK), 木醋液 300 kg · hm<sup>-2</sup> (BW1)、600 kg · hm<sup>-2</sup> (BW2) 和 900 kg · hm<sup>-2</sup> (BW3), 所有处理配施 600 kg · hm<sup>-2</sup> 的生物炭。每个处理设 3 次重复, 每区 6 垄, 垄长 5 m, 垄宽 0.65 m, 株距 0.2 m, 每公顷施纯 N 180 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90 kg, K<sub>2</sub>O 90 kg, 其中磷、钾和 2/3 的氮肥做基肥一次性施入, 1/3 的氮肥做苗期追肥。各处理木醋液和生物炭混匀于播种前均匀施入土壤。于 5 月 12 日进行播种, 其他除草、防病管理与生产田同步进行, 9 月 26 日收获, 收获时测产测糖。

甜菜生育期内共取样 5 次, 于播种后第 38、58、78、100 和 120 d 采集土壤样品, 采集时将各处理土壤表层杂物清理干净, 采集各处理耕层 (0 ~ 20 cm) 土壤, 每小区以 3 点采集混合土壤样品方法, 将取得的混合土壤保存进行相关指标测定。

## 1.3 测定指标与方法

土壤 pH 值测定采用《土壤农业化学分析方法》<sup>[14]</sup> 中的方法。土壤风干过筛, 将土样与去离子水按 1:5 配置, 搅拌静置后测定土壤电导率 (EC) 值。土壤比表面积于田间收获时采集土壤样品, 采用 CH<sub>3</sub>COOK 吸附法<sup>[15]</sup> 进行测定。土壤含水率利用烘干法<sup>[16]</sup> 测定。土壤养分和离子含量采用鲍士旦<sup>[17]</sup> 《土壤农化分析》中的方法测定。

甜菜块根产量 (kg · hm<sup>-2</sup>) 为收获各小区中间两垄连续 5 m 的全部块根, 洗净称重后折算公顷产量。甜菜块根品质 [块根含糖率、有害灰分 (钾盐和钠盐) 和 α-氨基态氮含量] 的测定委托黑龙江大学甜菜品质监督检验测试中心进行。

块根产糖量 (kg · hm<sup>-2</sup>) = 块根产量 × 含糖率

## 1.4 数据分析

用 Excel 2019 进行数据处理, 使用 SPSS 23.0 进行相关性分析和 5% 水平的差异显著性分析, Origin 2021 进行数据图表制作。

## 2 结果与分析

### 2.1 木醋液配施生物炭对土壤理化性质的影响

#### 2.1.1 对土壤比表面积和含水率的影响

如表 2 所示, 木醋液配施生物炭, 当季盐碱土壤比表面积提升 1.39% ~ 4.86%。相较于 CK 差异显著, 且 BW2 处理显著高于 BW1 和 BW3, 盐碱地中 BW2 处理提升土壤比表面积效果显著。此外, 各处理土壤含水率在取样时间中均呈先降低后升高再降低的变化趋势。相较于 CK, 木醋液配施生物炭显著提升土壤含水率, 且 BW2 处理土壤含水率在生育期间, 除在播后 120 d 与 BW1 处理差异不显著外, 其余取样时间均显著高于 BW1 和 BW3 处理。

#### 2.1.2 对土壤 pH 值及电导率的影响

由图 1 所示, 木醋液配施生物炭降低了盐碱土壤 pH 值, 且随木醋液施加量增加, 盐碱土壤 pH 值降低效果显著。与 CK 相比, 在不同取样时间, BW1 处理 pH 降低 0.01 ~ 0.04; BW2 处理 pH 降低 0.04 ~ 0.09; BW3 处理 pH 降低 0.02 ~ 0.09, BW2 与 BW3 处理间差异不显著。

如图 1 所示, 随着时间推迟, 土壤 EC 值呈现出下降趋势, 不同浓度木醋液配施生物炭均降低土壤 EC 值。相较于 CK, BW1 处理土壤 EC 值除播后

58 和 120 d 的取样时间无差异外, 其余取样时间均显著低于 CK; BW2 处理 EC 值在播后 38 和 58 d 均显著低于 BW1 处理, 在其他取样时间均无明显差异。在播后 58 和 78 d 时, BW2 的土壤 EC 值最低。

此外, 在甜菜全生育期内, BW3 处理的土壤 EC 值均显著低于 CK。因此, 木醋液配施生物炭对降低盐碱土壤 EC 值具有积极效应, 且随木醋液施用量的增加效果越明显。

表 2 木醋液配施生物炭对盐碱土壤含水率和比表面积的影响

处理	土壤含水率 (%)					比表面积 ( $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ )
	播后 38 d	播后 58 d	播后 78 d	播后 100 d	播后 120 d	播后 135 d
CK	25.34 ± 0.32c	12.12 ± 0.32d	16.78 ± 0.54d	33.00 ± 0.33d	22.87 ± 0.40b	0.288 ± 0.004c
BW1	26.01 ± 0.15b	13.10 ± 0.14c	20.00 ± 0.74c	34.70 ± 0.44c	24.48 ± 0.33a	0.292 ± 0.003bc
BW2	26.84 ± 0.41a	14.95 ± 0.54a	23.70 ± 0.31a	37.46 ± 0.35a	24.48 ± 0.45a	0.302 ± 0.004a
BW3	25.44 ± 0.28c	14.32 ± 0.22b	21.74 ± 0.25b	35.70 ± 0.13b	23.49 ± 0.22b	0.295 ± 0.001b

注: 同列中不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

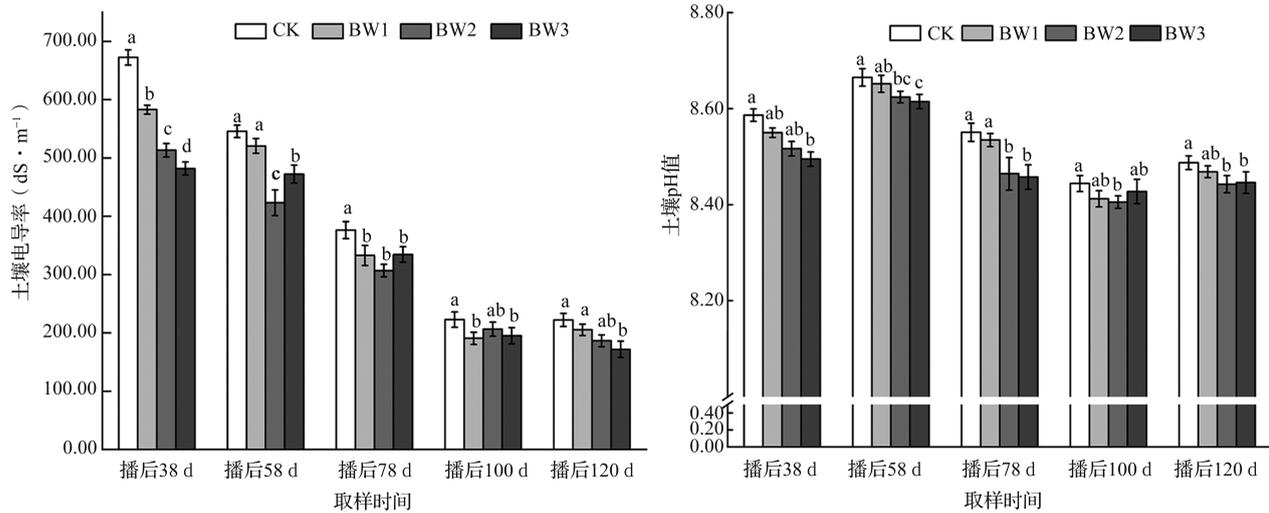


图 1 木醋液配施生物炭对盐碱土壤 pH 值和 EC 值的影响

注: 小写字母不同表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

### 2.1.3 对土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量的影响

由表 3 可知, 木醋液配施生物炭对提高土壤碱解氮含量具有显著作用。与 CK 相比, 在甜菜全生育期中土壤碱解氮含量 BW1 处理增加 6.29% ~ 14.24%, BW2 处理增加 10.00% ~ 22.10%, BW3 处理增加 4.27% ~ 21.61%。除播后 38、78 d 外, BW2 处理均显著高于 BW1 和 BW3 处理。各处理土壤有效磷含量在生育期间均呈先升高后降低的变化趋势。与 CK 相比, 木醋液配施生物炭处理有效磷含量显著提高, 播后 58 d BW2 处理显著高于 BW1 和 BW3 处理。各处理土壤速效钾含量在取样日期均呈先上升后下降再升高的变化趋势。在播后 38 d, BW1 处理显著高于 CK; 播后 58、78 d, BW1 和 BW2 处理与 CK 间差异不显著, 而 BW3 处理显

著高于 CK; 播后 100 d, BW1 处理速效钾含量最高, 显著高于其他 3 个处理。

### 2.1.4 木醋液配施生物炭对土壤有机质含量的影响

由图 2 所示, 木醋液配施生物炭显著提高土壤的有机质含量, 各处理土壤有机质含量在取样日期中呈先升高后降低的趋势。相较于 CK, BW1 处理在播后 58 和 100 d 中土壤有机质含量显著提高, 在播后 120 d 无差异; BW2 和 BW3 处理在所有时期均显著提高, 与 BW1 处理相比, 在播后 78 和 120 d 显著提高。BW2 处理在播后 58 和 78 d 的有机质含量最高, 且各时期均与 BW3 处理无明显差异。因此, 木醋液配施生物炭以 BW2 处理用量对提高土壤有机质含量的效果最显著。

表 3 木醋液配施生物炭对盐碱土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量的影响

指标	处理	取样时间				
		播后 38 d	播后 58 d	播后 78 d	播后 100 d	播后 120 d
碱解氮 (mg · kg <sup>-1</sup> )	CK	165.27 ± 9.60c	153.38 ± 9.61c	184.33 ± 13.18b	184.87 ± 8.13c	166.66 ± 9.07b
	BW1	177.18 ± 11.47bc	166.65 ± 8.59b	203.68 ± 12.38b	207.22 ± 11.09ab	177.15 ± 10.36ab
	BW2	181.81 ± 12.11b	187.28 ± 10.08a	225.25 ± 8.69a	219.03 ± 10.15a	194.83 ± 10.38a
	BW3	195.61 ± 10.88a	176.89 ± 10.90b	192.20 ± 7.80b	224.82 ± 8.92bc	183.25 ± 15.22ab
有效磷 (mg · kg <sup>-1</sup> )	CK	9.37 ± 15.09b	15.49 ± 8.12c	18.53 ± 5.44c	20.82 ± 9.54b	16.67 ± 10.49b
	BW1	10.85 ± 9.64ab	18.77 ± 10.13b	21.14 ± 11.76ab	21.78 ± 8.26ab	18.58 ± 6.52a
	BW2	12.08 ± 10.49a	20.46 ± 11.69a	22.57 ± 9.41a	22.06 ± 6.78ab	17.64 ± 11.06ab
	BW3	11.13 ± 9.41ab	19.62 ± 9.85b	19.97 ± 11.77bc	22.75 ± 12.09a	19.15 ± 8.37a
速效钾 (mg · kg <sup>-1</sup> )	CK	55.96 ± 7.04b	89.85 ± 5.24b	67.02 ± 7.18b	72.99 ± 5.77b	88.35 ± 7.39a
	BW1	75.25 ± 9.58a	101.70 ± 7.11ab	71.60 ± 4.39ab	86.42 ± 5.55a	81.12 ± 5.01ab
	BW2	63.61 ± 7.56ab	95.05 ± 9.89ab	77.27 ± 6.31ab	71.74 ± 7.41b	75.04 ± 8.52b
	BW3	63.88 ± 6.39ab	106.84 ± 9.29a	81.15 ± 8.13a	72.07 ± 3.67b	80.90 ± 4.81ab

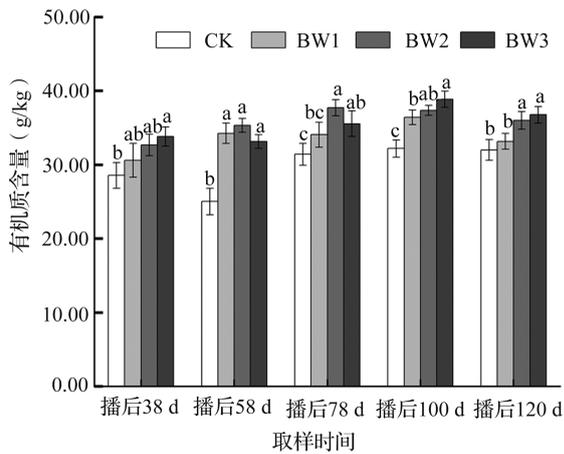


图 2 木醋液配施生物炭对盐碱土壤有机质含量的影响

### 2.1.5 木醋液配施生物炭对土壤中主要阴、阳离子含量的影响

由表 4 可以看出, 木醋液配施生物炭降低了盐碱土壤中 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Na<sup>+</sup> 和 Mg<sup>2+</sup> 的含量, 增加了 Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup> 的含量。BW1 和 BW2 处理的 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量比 CK 显著降低了 14.54% 和 12.01%; 随着木醋液浓度的提高, 土壤中 Cl<sup>-</sup> 和 Ca<sup>2+</sup> 的含量逐渐升高, 且 BW2 和 BW3 处理显著高于 CK 和 BW1; BW1、BW2 和 BW3 处理的 K<sup>+</sup> 含量显著高于 CK, 分别提高 43.34%、45.61% 和 47.73%; Mg<sup>2+</sup> 含量随木醋液浓度升高呈先升后降的变化趋势, BW3 处理的 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 显著高于其他处理。

表 4 木醋液配施生物炭对盐碱土壤主要阴、阳离子含量的影响

处理	阴离子 (μg · g <sup>-1</sup> )			阳离子 (μg · g <sup>-1</sup> )			
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
CK	187.08 ± 9.89a	35.52 ± 4.18b	188.04 ± 5.28b	7.06 ± 0.11b	166.61 ± 10.07ab	28.37 ± 1.61b	101.31 ± 10.88ab
BW1	159.86 ± 12.13b	43.11 ± 4.18b	194.01 ± 5.04ab	10.12 ± 0.13a	153.91 ± 12.84b	30.78 ± 1.41b	116.00 ± 11.40a
BW2	164.60 ± 11.59b	52.55 ± 4.09a	192.42 ± 6.47b	10.28 ± 0.12a	157.19 ± 10.21ab	34.84 ± 2.33a	108.62 ± 4.86a
BW3	174.61 ± 7.15ab	57.77 ± 5.87a	204.99 ± 7.01a	10.43 ± 0.39a	177.25 ± 9.74a	36.31 ± 2.80a	88.98 ± 10.11b

### 2.2 对甜菜块根产量和品质的影响

由表 5 可知, 木醋液配施生物炭均提高了甜菜块根产量和含糖率, BW1 处理块根产量和含糖率较 CK 分别提高 5.60% 和 0.31%, BW2 处理分别提

高 15.30% 和 0.84%, BW3 处理分别提高 9.84% 和 0.49%。木醋液配施生物炭对缓解盐碱胁迫危害, 提高甜菜块根产量和含糖率具有明显作用, 且以 BW2 处理的用量效果最为明显。

表5 木醋液配施生物炭对盐碱地甜菜块根产量、含糖率和产糖量的影响

处理	块根产量 (kg · hm <sup>-2</sup> )	含糖率 (%)	产糖量 (kg · hm <sup>-2</sup> )
CK	52081.36 ± 1255.32d	14.44 ± 0.20e	7517.58 ± 162.41d
BW1	55009.57 ± 1414.48c	14.75 ± 0.18b	8110.80 ± 175.66c
BW2	60043.99 ± 1000.75a	15.28 ± 0.16a	9175.79 ± 236.80a
BW3	57212.30 ± 858.27b	14.93 ± 0.13b	8543.49 ± 201.89b

由表6可知,木醋液配施生物炭对盐碱地甜菜块根内有害灰分(钾盐和钠盐)和 $\alpha$ -氨基态氮含量均产生影响。BW2处理甜菜块根内钾盐和钠盐均显著低于CK,但随木醋液浓度提高,甜菜块根内钠盐含量明显上升;BW3处理块根内 $\alpha$ -氨基态氮含量均显著高于CK和BW2处理,且BW2处理与CK和BW1处理间差异不显著。综合各处理对甜菜块根品质影响的分析,在盐碱地施以BW2处理用量对甜菜块根品质最佳。

表6 木醋液配施生物炭对盐碱地甜菜块根有害灰分和 $\alpha$ -氨基态氮含量的影响 (mmol · 100 g<sup>-1</sup>)

处理	钾盐	钠盐	$\alpha$ -氨基态氮
CK	2.66 ± 0.16b	2.70 ± 0.15ab	1.84 ± 0.14b
BW1	2.43 ± 0.21bc	2.49 ± 0.20b	2.01 ± 0.07ab
BW2	2.27 ± 0.21c	2.62 ± 0.13b	1.92 ± 0.07b
BW3	3.11 ± 0.14a	2.95 ± 0.07a	2.15 ± 0.11a

### 3 讨论

#### 3.1 木醋液配施生物炭对盐碱土壤理化性状的调节作用

生物炭具有改良盐碱地的作用,但在应用过程中发现,由于本身具有一定碱性,因而其对盐碱土降低pH效果不显著<sup>[18]</sup>,而木醋液是一种典型酸性液体土壤改良剂,在土壤中施用木醋液后,土壤pH显著降低,土壤中碱解氮、有效磷等速效养分含量以及有机质的含量提高<sup>[10, 19]</sup>,对盐碱土具有一定的改良作用。Zhang等<sup>[20]</sup>研究发现,木醋液配施生物炭降低盐碱土壤pH,对提高蓝莓根际土壤碳氮比、土壤有机质含量和果实品质具有显著效果,与本试验研究结果一致。这可能是因为木醋液酸性较强,使得土壤电导率值和pH值在甜菜生育期中显著下降,或因生物炭和木醋液本身属于作物废弃物经加工、提炼所产生的附属物质,其携带

的养分含量较多,进而降低土壤的pH值和电导率。在木醋液和生物炭的共同作用下,可以改善当季盐碱土壤环境,提高土壤养分含量,进而满足甜菜生育期中正常生长需要以及后期块根产量积累。

土壤中主要盐离子的含量是改良利用盐碱地过程中评价土壤质量的重要指标<sup>[21]</sup>。本研究结果发现,木醋液配施生物炭后能显著降低土壤pH,这与木醋液的强酸性有关<sup>[22]</sup>。木醋液配施生物炭使盐碱土壤中水溶性K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>和部分酸根离子含量增高,K<sup>+</sup>和Ca<sup>2+</sup>对土壤胶粒的吸附能力强于Na<sup>+</sup>,致使附着在土壤胶体上的Na<sup>+</sup>被置换,从而降低土壤中Na<sup>+</sup>含量和土壤的碱化程度<sup>[23]</sup>,对提高盐碱地的利用价值具有极大帮助。张进红等<sup>[24]</sup>研究表明,Ca<sup>2+</sup>可以置换出土壤中的Mg<sup>2+</sup>和K<sup>+</sup>,但在本研究中,Na<sup>+</sup>的降低幅度远远超过Mg<sup>2+</sup>和K<sup>+</sup>,这表明木醋液配施生物炭在改良盐碱土的离子交换过程中,Ca<sup>2+</sup>会优先交换Na<sup>+</sup>,这与程镜润等<sup>[25]</sup>的研究结果一致。本试验施加木醋液对提高土壤中Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>及降低HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>的含量效果显著,与王凡<sup>[26]</sup>研究结果基本一致。因此,木醋液配施生物炭对调节盐碱土壤中阴、阳离子含量,降低土壤盐分,改善当季盐碱土壤理化性质,促进甜菜生长极为有利。

#### 3.2 木醋液配施生物炭对盐碱地甜菜产量和品质的影响

前人研究发现,盐碱胁迫影响甜菜种子出苗率、降低甜菜生育期中的植株干物质积累量,并且使甜菜块根的产量和含糖率大幅度下降<sup>[27-29]</sup>。在盐碱土中施加3%生物炭,可减少10%的氮肥施用量且对甜菜块根产量和产糖量提升具有显著效果<sup>[30-31]</sup>。孙显旻等<sup>[32]</sup>研究表明,叶面喷施1%浓度的木醋液对提高棉花净光合速率和产量效果最显著;本试验结果与前人相似,这说明在盐碱土壤中施加木醋液配施生物炭降低了土壤pH,土壤比表面积增加,提高了土壤养分和土壤含水率,调节了离子平衡,改善了土壤养分的供给,显著提高了甜菜块根产量和品质,对当季甜菜根部养分和水分吸收及根系的生长膨大起到了促进作用。

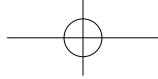
### 4 结论

不同浓度木醋液配施生物炭显著提高了土壤比表面积,调节土壤含水率和pH,在播后38~78d增加了土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量,改善

了土壤理化特性,同时提高了当季土壤有机物含量,减弱了盐碱土对甜菜生长胁迫的危害,显著提高了甜菜块根产量和品质。综合分析,BW2对改善当季盐碱土壤理化特性及甜菜块根产量和品质效果最佳。

### 参考文献:

- [1] 黄春燕,苏文斌,郭晓霞,等. 15个甜菜品种对盐碱胁迫的生理响应及耐盐碱性评价[J]. 北方农业学报, 2020, 48(4): 1-9.
- [2] 秦树才,李刚,李实,等. 我国甜菜抗盐资源的鉴定[J]. 中国糖料, 2004(2): 43-47.
- [3] 谢祖彬,刘琦,许燕萍,等. 生物炭研究进展及其研究方向[J]. 土壤, 2011, 43(6): 857-861.
- [4] 陈温福,张伟明,孟军. 农用生物炭研究进展与前景[J]. 中国农业科学, 2013, 46(16): 3324-3333.
- [5] 张伟明. 生物炭的理化性质及其在作物生产上的应用[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012.
- [6] 平安. 木醋液在农业上的应用及作用机理研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2010.
- [7] Lashari M S, Liu Y, Li L, et al. Effects of amendment of biochar-manure compost in conjunction with pyrolytic solution on soil quality and wheat yield of a salt-stressed cropland from Central China Great Plain [J]. *Field Crops Research*, 2013, 144: 113-118.
- [8] Lashari M S, Ye Y, Ji H, et al. Biochar-manure compost in conjunction with pyrolytic solution alleviated salt stress and improved leaf bioactivity of maize in a saline soil from central China: a 2-year field experiment [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2015, 95(6): 1321-1327.
- [9] Benzon H R L, Rubenecia M R U, Ultra V U, et al. Chemical and biological properties of paddy soil treated with herbicides and pyrolytic Acid [J]. *Journal of Agricultural Science*, 2015, 7(4): 20.
- [10] 李忠徽,王旭东. 灌施木醋液对土壤性质和植物生长的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2): 510-516.
- [11] 胡世龙,程博,曹湊贵,等. 不同氮肥水平下喷施木醋液对水稻产量和食味品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(1): 133-140.
- [12] 胡苗苗,朱新萍,李典鹏,等. 生物炭基肥和木醋液对干旱区土壤养分及棉花产量的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2018, 41(5): 369-375.
- [13] 武沛然,郭广昊,刘磊,等. 盐碱胁迫下生物炭对甜菜生长的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(11): 31-38.
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [15] 依艳丽. 土壤物理研究法[M]. 北京: 北京大学出版社, 2009.
- [16] 周健民,沈仁芳. 土壤学大辞典[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 中国农业出版社, 2000.
- [18] 张雯,耿增超,陈心想事成,等. 生物质炭对盐土改良效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(2): 73-77, 105.
- [19] 顾美英,刘洪亮,李志强,等. 新疆连作棉田施用生物炭对土壤养分及微生物群落多样性的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(20): 4128-4138.
- [20] Zhang Y, Wang X, Liu B, et al. Comparative study of individual and Co-Application of biochar and wood vinegar on blueberry fruit yield and nutritional quality[J]. *Chemosphere*, 2020, 246(5): 125699.
- [21] 李鑫,张文菊,邬磊,等. 土壤质量评价指标体系的构建及评价方法[J]. 中国农业科学, 2021, 54(14): 3043-3056.
- [22] 王才威,张守玉,杨东杰,等. 木醋液制备及形成机理研究进展[J]. 化工进展, 2020, 39(9): 3723-3738.
- [23] 陈友媛,王翔宇,吴海霞,等. 浒苔生物炭对滨海盐碱土Na<sup>+</sup>的吸附迁移机制研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2019, 49(S1): 85-92.
- [24] 张进红,吴波,王国良,等. 生物炭对盐渍土理化性质和紫花苜蓿生长的影响[J]. 农业机械学报, 2020, 51(8): 285-294.
- [25] 程镜润,陈小华,刘振鸿,等. 脱硫石膏改良滨海盐碱土的脱盐过程与效果实验研究[J]. 中国环境科学, 2014, 34(6): 1505-1513.
- [26] 王凡. 生物炭与木醋液复配对盐渍化农田作物生长及水土环境影响试验研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [27] 郭剑. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>胁迫下甜菜幼苗的响应及其根际环境的变化[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2016.
- [28] 耿贵,汪景宽,陈丽,等. 氯化钠胁迫对甜菜幼苗生长、叶绿素含量和硝酸还原酶活性的影响[J]. 中国糖料, 2007(1): 25-27.
- [29] 武俊英,秦丽,杨进,等. 盐胁迫对农大甜研6号甜菜幼苗生长和养分运移的研究[J]. 作物杂志, 2017(3): 75-80.
- [30] 武沛然. 生物炭与氮肥配施对盐碱胁迫下甜菜生长及土壤特性的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019.
- [31] 杨芳芳,李彩凤,刘丹,等. 有机肥对混合盐碱胁迫甜菜光合特性及产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2019, 47(4): 74-82.
- [32] 孙显旻,国艳春,曾路生,等. 叶面喷施不同浓度木醋液对棉花产量和光合利用效率的影响[J]. 中国棉花, 2020, 47(12): 7-12, 26.



**Effects of wood vinegar combined with biochar application on physicochemical properties of saline alkali soil of sugar beet in season**

YANG Xiao-fei, LI Wang-shu, WANG Shu-feng, WANG Chao, ZHAO Ling-hua, YU Xin-rui, ZHUANG Yan-long, WANG Yu-bo, ZHANG Peng-fei, LI Cai-feng\* (College of Northeast Agricultural University, Harbin Heilongjiang 153030)

**Abstract:** The sugar beet variety KWS 1176 was used as the experimental material and a plot experiment was conducted on the saline alkali soil ( $\text{Na}^+$  content  $203.33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , pH 8.92) in Wujian Village, Shangjia Town, Zhaodong City, Heilongjiang Province. Four treatments were set up in the experiment, including without the addition of wood vinegar (CK),  $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  of wood vinegar (BW1),  $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  of wood vinegar (BW2) and  $900 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  of wood vinegar (BW3), each treatment was treated with biochar at a dosage of  $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ . Results showed that the combination of wood vinegar and biochar significantly increased soil specific surface area (1.39%-4.86%) and water content, while reduced soil pH and electrical conductivity, significantly increased the content of soil nutrients (alkali hydrolyzed nitrogen, available phosphorus, and organic matter) in the current season. The effect of soil nutrient improvement was significant at 58 days after sowing, with alkali hydrolyzed nitrogen, available phosphorus, and organic matter increasing by 14.24%-26.87%, 21.17%-32.09% and 2.51%-41.19%, respectively. The content of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{Cl}^-$  in the soil treated with BW2 were significantly increased, while the content of soluble  $\text{Na}^+$  and  $\text{HCO}_3^-$  were significantly decreased; BW2 significantly improved the yield and quality of sugar beet root tubers, reduced the sodium, potassium and  $\alpha$ -amino nitrogen content in the root tubers. Compared with CK, the content of amino nitrogen in root tubers was increased by 5.32%-15.29%, and the sugar content in root tubers was increased by 0.31%-0.84%. Overall analysis showed that BW2 had the best effect on improving the physicochemical properties of saline alkali soil during the season, as well as the yield and quality of sugar beet root tubers.

**Key words:** sugar beet; saline-alkali soil; wood vinegar; biochar; soil physicochemical properties; root yield