

有机肥替代氮肥对银北灌区盐化灌淤土理化性质及玉米生长的影响

王晓媛¹, 孙 娇²

(1. 宁夏回族自治区农业技术推广总站, 宁夏 银川 750001; 2. 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 宁夏 银川 750002)

摘要: 次生盐渍化已成为宁夏银北灌区灌淤土壤退化的主要形式, 制约着宁夏农业持续高质量发展。为了给宁夏地区盐化灌淤土的施肥管理及提高作物产量提供科学依据, 以银北灌区典型盐化灌淤土为研究对象、玉米品种先玉 335 为指示品种, 研究了不同施肥水平对盐化灌淤土土壤理化性质及玉米生长的影响。结果表明, 各施肥处理均能有效地增加盐化灌淤土的速效养分含量, 进而优化玉米产量构成要素, 提高玉米产量。各施肥处理除常规施肥处理 (施 N 375.0 kg/hm²、P₂O₅ 100.0 kg/hm²、K₂O 100.0 kg/hm²) 的玉米总根长、根表面积最高外, 有机肥替代常规施肥量 50% 氮肥 (施 N 187.5 kg/hm²、P₂O₅ 100.0 kg/hm²、K₂O 100.0 kg/hm²、有机肥 7.3 t/hm²) 处理的土壤理化性质及玉米生长指标最高。与对照不施肥相比, 该处理下土壤有机质、速效氮、速效磷、速效钾分别增加了 34.5%、25.9%、120.5%、23.7%, 玉米穗长、穗粗、穗粒数、产量分别增加了 40.5%、15.2%、80.5%、104.8%, 秃尖长降低了 78.0%; 与常规施肥处理相比, 该处理下土壤有机质、速效氮、速效磷、速效钾分别增加了 36.5%、21.4%、13.7%、8.6%, 玉米穗长、穗粗、穗粒数、产量分别增加了 0.6%、1.9%、5.3%、3.1%, 秃尖长降低了 57.7%。综合分析, 不同施肥水平均可改善盐化灌淤土理化性质进而提升玉米产量, 且以有机肥替代部分氮肥施用的处理效果较好, 其中以有机肥替代常规施肥量 50% 氮肥的施肥水平效果最好。

关键词: 氮肥减施; 配施有机肥; 玉米; 盐化灌淤土; 土壤理化性质; 产量; 银北灌区

中图分类号: S513; S147.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-2172(2024)01-0051-06

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2024.01.009

Effects of Partial Substitution of Nitrogen Fertilizer with Organic Fertilizer on Soil Physicochemical Properties and Maize Growth in Salinized Irrigation and Silting Soil of Northern Ningxia

WANG Xiaoyuan¹, SUN Jiao²

(1. Ningxia Hui Autonomous Region Agricultural Technology Extension General Station, Yinchuan Ningxia 750001, China;
2. Research Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan Ningxia 750002, China)

Abstract: Secondary salinization has become the main form of soil degradation in anthropogenic alluvial soils in their irrigation areas of Northern Yinchuan, which restricts the sustained high-quality development of agriculture in Ningxia. Taking the typical saline irrigation and silting soils in Ningxia as the research object and using Xianyu 335 as the indication variety, this paper analyzed the effects of different fertilizations on soil physical and chemical properties and maize growth, so as to provide a theoretical basis for fertilization management for saline irrigation and silting soil and improve crop yields in this region. The results showed that fertilization could effectively increase the contents of available nutrients in saline irrigated and silted soil, and therefore, increase maize yield and its constituent elements. In all fertilization treatments, all the soil physicochemical properties and maize growth parameters peaked under the treatment of 50% substitution of nitrogen fertilizer with organic fertilizer (N at 187.5 kg/ha, P₂O₅ at 100.0 kg/ha, K₂O at 100.0 kg/ha and organic fertilizer at 7.3 t/ha) in addition to the peak of root length and root surface area under conventional fertilization treatment (N at 375.0 kg/ha, P₂O₅ at 100.0 kg/ha and K₂O at 100.0 kg/ha). When compared with no fertilization, contents of soil organic matter, available nitrogen, available phosphorus and available potassium under 50% substitution treatment were increased by 34.5%, 25.9%, 120.5% and 23.7%, respectively, whereas the ear length, ear diameter, number of grains per ear and yield of maize were increased by 40.5%, 15.2%, 80.5% and 104.8%, respectively, and the bald tip length was decreased by 78%. Compared with the conventional fertilization treatment, contents of soil organic matter, available

收稿日期: 2023-10-16

基金项目: 宁夏农林科学院重大科技平台提升项目(NKYP-22-02); 宁夏自然科学基金(2020AAC03298)。

作者简介: 王晓媛(1985—), 女, 宁夏石嘴山人, 农艺师, 硕士, 主要从事土壤改良与肥料技术推广工作。Email: xiaoyuan_2000@126.com。

通信作者: 孙 娇(1986—), 女, 甘肃庆阳人, 助理研究员, 主要从事土壤质量研究工作。Email: 915336809@qq.com。

nitrogen, available phosphorus and available potassium under 50% substitution treatment were increased by 36.5%, 21.4%, 13.7% and 8.6%, respectively, whereas the ear length, ear diameter, number of grains per ear and yield of maize were increased by 0.6%, 1.9%, 5.3% and 3.1%, respectively, and the bald tip length was decreased by 57.7%. Comprehensive analysis showed that different fertilizations could improve the physical and chemical properties of saline irrigation and silting soil and then increase the yield of maize, and the effect of 50% substitution of nitrogen fertilizer with organic fertilizer was the most significant.

Key words: Nitrogen fertilizer reduction; Organic fertilizer supplement; Maize; Salinized irrigation and silting soil; Soil-physicochemical property; Yield; Irrigation area in Northern Yinchuan

灌淤土是内陆灌溉农业区的重要土壤类型, 经长期灌溉淤积、耕种培肥而成。灌淤土多分布于地势平坦、灌溉便利区域, 土壤结构和通气状况良好、质地适中、有机质和养分含量较高, 已成为我国西北地区非常重要的耕作土壤类型。宁夏引黄灌区用占宁夏耕地总面积 34% 的灌淤土壤生产了宁夏 70% 的粮食, 可见灌淤土在宁夏农业生产中具有重要地位。由于灌淤土多分布在地下水位较高的地区, 尤其是宁夏银北灌区地势低洼、灌排不畅, 极易引起土壤的次生盐渍化, 盐渍化已成为灌淤土壤退化的主要形式, 也是制约农业发展的重要因素。合理施肥是提高土壤养分、增加作物产量的重要手段, 也是缓解、防治土壤次生盐渍化的重要措施。施用有机肥可有效培肥土壤, 促进土壤排盐抑碱, 改善土壤结构, 进而提升土壤生产力^[1-2]。研究发现, 化肥配施有机肥后盐碱土壤的全盐含量比对照降低 25.1%, 玉米产量增加 5.2%^[3]。冬前增施有机肥更有利于滨海盐碱地改良及棉苗的正常生长^[4]。但也有研究认为设施土壤含盐量与有机肥施用量显著正相关^[5]。目前, 关于宁夏盐化灌淤土的研究多集中在土壤改良方面, 对合理施肥的效果研究较少。我们以玉米品种先玉 335 为指示品种, 研究了氮肥减施与配施有机肥对银北灌区盐化灌淤土壤理化性质、玉米生长及产量的影响, 初步提出银北灌区盐化灌淤土的合理施肥方式, 以期为宁夏地区盐化灌淤土的施肥管理及提高作物产量提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2017—2020 年在位于宁夏银北灌区的石嘴山市平罗县黄渠桥镇通润村进行。该地区属中温带干旱荒漠气候区, 海拔约 1 090 m, 光照资源充足, 平均日照时数 3 201.8 h。近 10 年来该区域年降水量为 117.1~243.4 mm, 主要集中在 7—9 月, 蒸发量为 1 708.7 mm。试验地地貌为冲积平

原, 地势低洼, 土壤类型为轻度盐化土壤, 土壤全盐含量 1.6 g/kg, 阳离子以 Na⁺ 为主, 占全盐总量的 35.0%, 该土壤盐分含量水平的耕地面积占银北灌区的 63.5%。土壤质地为粉砂质壤土, 呈碱性。耕层土壤含有机质 16.0 g/kg、碱解氮 54.2 mg/kg、速效磷 10.7 mg/kg、速效钾 217.9 mg/kg。

1.2 供试材料

指示玉米品种为先玉 335, 由敦煌种业先锋良种有限公司提供。供试氮肥为尿素(含 N 46%, 由宁夏鲁西化肥化工有限公司生产), 磷肥为重过磷酸钙(含 P₂O₅ 44%, 由云南云天化国际化工股份有限公司生产), 钾肥为氯化钾(含 K₂O 60%, 由国投罗布泊钾盐有限责任公司生产), 有机肥为鸡粪商品有机肥(含 C 506.0 g/kg、N 25.8 g/kg、P 23.5 g/kg、K 38.1 g/kg, 由宁夏顺宝实业生物科技有限公司提供)。

1.3 试验方法

试验共设 5 个处理, 分别为不施肥(CK)、常规施肥(NPK)、优化施肥(0.7 N+PK)、有机肥替代 30% 氮肥(0.7 N+PKM)、有机肥替代 50% 氮肥(0.5 N+PKM)。采用完全随机区组设计, 3 次重复, 小区面积为 40 m²(5 m × 8 m)。各处理肥料施用量见表 1。其中, 全部有机肥、磷肥、钾肥和 50% 的氮肥基施, 在拔节期、抽穗期分别施入 25% 的氮肥。玉米于 4 月 20 日按行距 50 cm、株距 22 cm 播种, 种植密度 8.2 万株/hm²。各处理均在玉米全生育期引黄河水漫灌 4 次, 总灌溉量 7 500 m³/hm²。田间其余管理措施同当地大田。9 月 20—22 日收获。

表 1 不同处理肥料施用量

处理	有机肥 /(t/hm ²)	N /(kg/hm ²)	P ₂ O ₅ /(kg/hm ²)	K ₂ O /(kg/hm ²)
CK	0	0	0	0
NPK	0	375.0	100	90
0.7 N+PK	0	262.5	100	90
0.7 N+PKM	4.4	262.5	100	90
0.5 N+PKM	7.3	187.5	100	90

1.4 样品采集与分析

1.4.1 土样采集与分析 于 2020 年 9 月底玉米收获期在各小区采集 0~20 cm 土壤样品, 分小区用土钻进行“S”形 6 点取样, 带回实验室风干用于理化性质测定。土壤有机碳(SOC)采用重铬酸钾外加热法测定, 全氮(TN)采用凯氏定氮法测定, 速效氮采用碱解扩散法测定, 速效磷采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法测定, 速效钾采用 1 mol/L NH₄O Ac 溶液浸提-火焰光度法(FP6400型)测定, pH 采用点位法(水土比 1:2.5)测定, 全盐采用 DDS-11 电导率仪测定^[6]。

1.4.2 玉米生长指标分析 收获时, 各处理选长势一致、有代表性的玉米 10 株, 用卷尺测定株高, 用游标卡尺测定茎粗。采用完全采样法采集完整根系, 根系样本冲洗干净后, 用 WinRHIZO 根系图像分析系统分析根系长度、直径、面积、体积等指标。

1.4.3 产量测定 玉米生理成熟后, 各处理取中间 8 行进行田间综合性状调查。现场调查统计收获株数和果穗数, 各小区连续取 20 株玉米的果穗进行室内考种。采用 PM-8188 谷物水分测定仪测定籽粒含水率, 10 次重复, 取平均数。按 14% 含水量计算不同处理的小区产量并折算折合产量。考种指标包括穗长、穗粗、秃尖长、穗粒数、百粒重等, 其中穗长用直尺、穗粗和秃尖长用游标卡尺测量, 百粒重用电子天平测定。

1.5 数据处理

利用 Excel 2007 和 SPSS 19.0 对试验数据进行

统计分析, 采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差数法(LSD)进行显著性检验。采用 Origin 9.0 和 Excel 2007 制作图表。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤理化性质的影响

不同处理对土壤理化性质影响显著(表2)。与对照相比, 施肥处理均能明显提高土壤全盐、速效氮、速效磷、速效钾含量, 而对土壤 pH、全氮含量影响不显著。以 0.5 N+PKM 处理的土壤全盐、有机质、速效氮、速效磷含量最高, 分别比对照增加了 81.8%、34.5%、25.9%、120.5%, 比 NPK 处理(常规施肥)增加了 25.0%、36.5%、21.4%、13.7%; 0.5 N+PKM 处理的土壤速效钾含量比对照增加了 23.7%, 比 NPK 处理(常规施肥)增加了 8.6%。0.7 N+PKM 处理与 0.5 N+PKM 处理相比, 土壤理化性质各指标差异均未达到显著水平。与对照相比, NPK 处理(常规施肥)的土壤全盐、速效氮、速效磷、速效钾含量分别增加了 45.5%、3.7%、94.0%、13.9%。0.7 N+PK 处理与 NPK 处理(常规施肥)相比, 土壤理化性质各指标均无显著差异。

2.2 不同处理对玉米产量及其构成因素的影响

从表 3 可以看出, 与对照相比, 各施肥处理显著增加了玉米穗长、穗粗、穗粒数、百粒重、产量, 显著降低了玉米秃尖长, 而各施肥处理间的玉米穗长、穗粗、百粒重差异不显著。不同处理之间相比, 以 0.5 N+PKM 处理的穗粗、穗粒数、产量最高, 分别比对照增加了 15.2%、80.5%、104.8%, 分别比 NPK 处理(常规施肥)增加了 1.9%、

表 2 不同处理的土壤理化性质

处理	pH	全盐 /(g/kg)	有机质 /(g/kg)	全氮 /(g/kg)	速效氮 /(mg/kg)	速效磷 /(mg/kg)	速效钾 /(mg/kg)
CK	8.8±0.3 a	1.1±0.2 a	13.9±0.8 a	1.1±0.1 ab	61.7±5.5 a	16.6±5.9 a	194.0±17.1 a
NPK	8.5±0.1 a	1.6±0.4 ab	13.7±0.9 a	1.1±0.1 ab	64.0±5.3 ab	32.2±1.6 b	221.0±32.6 ab
0.7 N+PK	8.5±0.1 a	1.6±0.4 ab	13.9±0.6 a	1.0±0.0 a	72.7±9.0 bc	33.0±8.8 b	220.7±20.0 ab
0.7 N+PKM	8.5±0.0 a	1.8±0.4 ab	17.9±0.8 b	1.0±0.1 ab	70.0±3.5 abc	34.2±1.6 b	246.3±16.9 b
0.5 N+PKM	8.5±0.1 a	2.0±0.4 b	18.7±1.0 b	1.1±0.0 ab	77.7±1.5 c	36.6±5.1 b	240.0±25.0 b

①表中数据为 3 个数值的平均值±标准误, 同列数据后不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$), 下同。

表 3 不同处理的玉米产量及其构成要素

处理	穗长 /cm	穗粗 /cm	秃尖长 /mm	穗粒数 /粒	百粒重 /g	产量 /(kg/hm ²)
CK	12.6±1.0 a	4.6±0.2 a	5.0±3.3 c	386.3±50.5 a	24.2±0.9 a	8 797.6±358.1 a
NPK	17.6±0.5 b	5.2±0.1 b	2.6±1.6 b	662.4±22.7 c	27.7±0.4 b	17 479.1±308.8 c
0.7 N+PK	16.5±0.6 b	5.1±0.0 b	3.2±2.8 b	592.0±28.8 b	27.7±0.6 b	15 024.4±160.5 b
0.7 N+PKM	17.8±1.5 b	5.2±0.1 b	1.6±0.6 a	682.0±29.3 c	27.9±0.2 b	17 722.0±849.0 cd
0.5 N+PKM	17.7±0.4 b	5.3±0.1 b	1.1±1.1 a	697.4±9.5 c	27.6±0.4 b	18 015.7±102.4 d

5.3%、3.1%；而秃尖长与对照相比降低了 78.0%，与 NPK 处理（常规施肥）相比降低了 57.7%。0.5 N+PKM 处理与 0.7 N+PKM 处理相比，玉米产量及其构成要素间差异均未达到显著水平。与对照相比，NPK 处理(常规施肥)的玉米穗长、穗粗、穗粒数、百粒重、产量分别增加了 39.7%、13.0%、71.5%、14.5%、98.7%，秃尖长降低了 48.0%。0.7 N+PK 处理与 NPK 处理(常规施肥)相比，产量降低了 14.0%。

2.3 施肥对玉米株高、茎粗的影响

从图 1 可以看出，各施肥处理玉米的株高、茎粗均较对照显著增加，且 0.7 N+PK 处理、0.7 N+PKM 处理、0.5 N+PKM 处理之间玉米株高、茎粗无显著差异，但均显著高于 NPK 处理(常规施肥)。

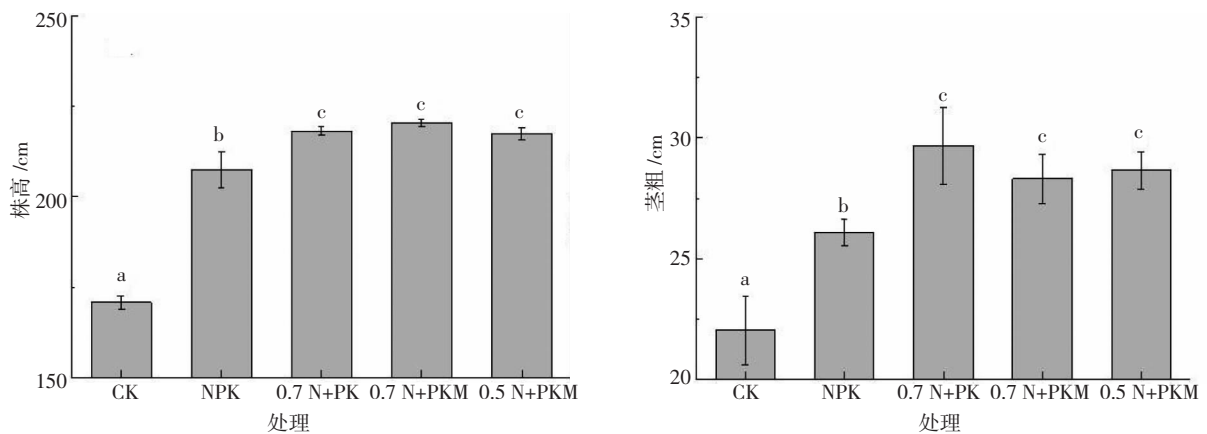


图 1 不同处理玉米的株高和茎粗

表 4 不同处理的玉米根系生长特性

处理	总根长 /cm	根表面积 /cm ²	根系直径 /mm	根体积 /cm ³
CK	1 268.1±199.6 a	289.0±41.3 a	0.7±0.0 a	5.3±0.7 a
NPK	2 500.5±333.0 c	546.7±31.0 c	0.7±0.1 a	9.7±0.3 bc
0.7 N+PK	1 772.4±304.7 b	463.8±72.4 bc	0.7±0.1 a	10.7±3.2 c
0.7 N+PKM	1 921.6±294.9 b	407.3±41.7 b	0.7±0.0 a	6.9±0.5 ab
0.5 N+PKM	2 203.4±217.2 bc	479.2±32.4 bc	0.7±0.0 a	8.4±0.3 bc

表 5 土壤理化性质与玉米生长指标的相关性分析

理化性状指标	穗长	穗粗	秃尖长	穗粒数	百粒重	产量	株高	茎粗	总根长	根表面积	根系直径	根体积
有机质含量	0.50	0.50	-0.70**	0.60*	0.40	0.60*	0.50	0.40	0.20	0.00	-0.40	-0.20
全氮含量	0.20	0.20	-0.20	0.20	-0.00	0.10	-0.10	-0.20	0.20	0.00	-0.40	-0.20
速效氮含量	0.50	0.50	-0.50*	0.60*	0.50*	0.50*	0.60*	0.60*	0.20	0.20	-0.20	0.00
速效磷含量	0.80**	0.80**	-0.80**	0.80**	0.80**	0.80**	0.80**	0.80**	0.50	0.50	-0.30	0.50
速效钾含量	0.60*	0.70**	-0.70**	0.70**	0.50*	0.60*	0.60*	0.60*	0.50	0.40	-0.10	0.30
pH	-0.90**	-0.90**	-0.90**	0.80**	-0.95**	-0.95**	-0.96**	-0.90**	-0.70**	-0.80**	0.20	-0.60**
全盐含量	0.90**	0.90**	0.90**	-0.95**	0.80**	0.90**	0.90**	0.80**	0.60*	0.60*	-0.20	0.40

2.4 施肥对玉米根系生长的影响

从表 4 可以看出，各施肥处理均能显著增加玉米总根长、根表面积和根体积，而对根系直径影响不显著。与对照相比，不同施肥处理的玉米总根长、根表面积、根体积的增加范围分别为 39.8%~97.2%、40.9%~89.2%、30.2%~101.9%。且 NPK 处理(常规施肥)的玉米总根长、根表面积均高于其他施肥处理，但差异显著性各异。0.7 N+PKM 处理与 0.5 N+PKM 处理之间的玉米总根长、根表面积和根体积差异不显著。

2.5 土壤理化性质与玉米生长指标间的相关性分析

对土壤理化性质与玉米生长指标的相关性分析结果(表 5)表明，土壤速效磷含量与玉米穗长、穗粗、穗粒数、百粒重、产量、株高、茎粗极显著正相关，与秃尖长极显著负相关。速效钾含量

与玉米穗粗、穗粒数极显著正相关, 与穗长、百粒重、产量、株高、茎粗显著正相关, 与秃尖长极显著负相关。速效氮含量与玉米穗粒数、百粒重、产量、株高、茎粗显著正相关, 与秃尖长显著负相关。土壤有机质含量与玉米穗粒数、产量显著正相关, 与秃尖长极显著负相关, 与根系生长特性各指标均无显著相关性。土壤 pH 与玉米穗长、穗粗、秃尖长、百粒重、产量株高、茎粗、总根长、根表面积、根体积极显著负相关, 与穗粒数极显著正相关。土壤全盐含量与穗长、穗粗、秃尖长、百粒重、产量、株高、茎粗极显著正相关, 与总根长、根表面积显著正相关, 与穗粒数极显著负相关。

3 讨论与结论

土壤养分提供着植物生长所必需的营养元素^[7]。本研究发现, 施 N 肥能明显增加土壤中速效养分含量, 且以有机肥替代 50% 氮肥 (施 N 187.5 kg/hm²、P₂O₅ 100.0 kg/hm²、K₂O 100.0 kg/hm²、有机肥 7.3 t/hm²) 的效果最为明显。已有的研究表明, 施肥可以提高土壤中 N、P、K 含量和有机质含量^[8]。适宜的有机肥和化肥配施使有机肥易被微生物利用, 进而促进了氮素在微生物体内的固定, 避免了前期过多的无机氮挥发损失, 提高了氮肥利用效率^[9]。长期施用化肥虽然能够提高土壤供肥能力, 但增施有机肥或部分有机替代可以显著增加土壤有机养分, 提高土壤供肥能力, 这也是有机肥优于化肥的原因之一^[10-11]。本试验中, 与不施肥对照相比, 施肥显著增加了土壤全盐含量, 且有机肥替代部分氮肥的作用更为明显。不同有机肥施用量对不同类型土壤全盐含量的影响各有不同。有研究认为有机肥替代部分化肥后降低了土壤盐分从下层向上层的移动速率, 进而降低了土壤盐分含量^[12]。也有研究认为鸡粪中盐分较高, 施用鸡粪商品有机肥会带给土体输入较高的盐分^[13]。土壤含盐量与有机肥施用量呈极显著正相关, 施用氮肥不同程度地增加了土壤溶液中 K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、NO₃⁻ 的含量, 施用有机肥显著增加了 K⁺、Na⁺、Cl⁻ 的含量^[5]。

在本试验中, 与不施肥对照相比, 有机肥替代 50% 氮肥的处理 (施 N 187.5 kg/hm²、P₂O₅ 100.0 kg/hm²、K₂O 100.0 kg/hm²、有机肥 7.3 t/hm²) 显著

增加了玉米产量及其构成要素和株高、茎粗、总根长、根表面积、根体积等指标。有研究表明在黄河三角洲盐碱地上增施有机肥可明显增加杂交狼尾草的产量, 改善饲草品质^[14]; 在水稻上的研究也证明有机无机混施可改善土壤环境, 提高产量^[15]。这主要是由于有机肥改善了土壤的理化性质, 增加土壤有机质含量和腐殖质组成, 提高了土壤保墒保肥能力^[16]。另外, 本试验的土壤 pH > 8.5, 呈碱性环境, 若不改变施肥种类, 在一定程度上会抑制微生物活性和作物对养分的吸收。而有机无机结合可改善土壤生态环境, 使根系获得有效养分的能力增强, 从而提高养分利用率, 作物产量也随之增加^[12]。相关性分析发现土壤全盐与玉米秃尖长极显著正相关, 与穗粒数极显著负相关, 说明玉米穗粒数、秃尖长对盐分逆境较为敏感。通常认为土壤盐分含量大于 2 g/kg 时, 农作物受害^[17]。也有研究认为在盐分含量为 1.5 g/kg 的逆境下, 作物开始产生胁迫反应, 且穗粒数比百粒重对盐分逆境更为敏感^[18]。

与对照不施肥相比, 各施肥处理均明显增加了盐化灌淤土壤的速效养分含量, 及改善了产量构成要素、株高、茎粗、总根长、根表面积、根体积等指标, 进而明显提升了玉米产量。对土壤理化性质与玉米生长指标的相关性分析发现, 土壤速效养分与玉米穗粒数、百粒重、产量、株高、茎粗显著正相关, 与秃尖长极显著负相关; 土壤速效磷、速效钾与穗长、穗粗显著正相关。土壤 pH 对玉米生长的作用与速效养分相反, 而土壤速效养分与根系生长特性无显著相关性。各施肥处理中除了常规施肥处理 (施 N 375.0 kg/hm²、P₂O₅ 100.0 kg/hm²、K₂O 100.0 kg/hm²) 的玉米总根长、根表面积最高外, 有机肥替代 50% 氮肥处理的土壤理化性质及玉米生长指标最高。与对照不施肥相比, 有机肥替代 50% 氮肥处理的土壤有机质、速效氮、速效磷、速效钾分别增加了 34.5%、25.9%、120.5%、23.7%, 玉米穗长、穗粗、穗粒数、产量分别增加了 40.5%、15.2%、80.5%、104.8%, 秃尖长降低了 78.0%; 与常规施肥处理相比, 有机肥替代 50% 氮肥处理的土壤有机质、速效磷、速效钾分别增加了 36.5%、21.4%、13.7%、8.6%, 玉米穗长、穗粗、穗粒数、产量分别增加

了 0.6%、1.9%、5.3%、3.1%，秃尖长降低了 57.7%。综合分析，不同施肥水平均可改善盐化灌淤土理化性质进而提升玉米产量，且以有机肥替代部分氮肥施用的处理效果较好，其中以有机肥替代常规施肥量 50%氮肥的施肥方案效果最好。

参考文献:

- [1] 米迎宾, 杨劲松, 姚荣江, 等. 不同措施对滨海盐渍土壤呼吸、电导率和有机碳的影响[J]. 土壤学报, 2016, 53(3): 612-620.
- [2] 余世鹏, 杨劲松, 刘广明. 不同水肥盐调控措施对盐碱耕地综合质量的影响[J]. 土壤通报, 2011, 42(4): 942-947.
- [3] 李磊, 王晶, 朱志明, 等. 氮肥减施与有机肥/秸秆配施对盐碱地土壤肥力指标及玉米产量的影响[J]. 土壤通报, 2020, 51(4): 928-935.
- [4] 罗佳, 盛建东, 王永旭, 等. 不同有机肥对盐渍化耕地土壤盐分、养分及棉花产量的影响[J]. 水土保持研究, 2016, 23, 116(3): 54-59.
- [5] 刘媛媛, 李廷轩, 余海英, 等. 有机肥与尿素配施对设施土壤盐分含量与组成变化的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(2): 292-298.
- [6] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [7] DU E, VRIES W D, MCNULTY S, et al. Bulk deposition of base cationic nutrients in China's forests: Annual rates and spatial characteristics[J]. Atmospheric Environment, 2018, 184: 121-128.
- [8] 李欢欢, 刘浩, 孙景生, 等. 水肥耦合对温室番茄产量、水分利用效率和品质的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2018, 36(9): 886-891.
- [9] 张亚丽, 张娟, 沈其荣, 等. 秸秆生物有机肥的施用对土壤供氮能力的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(12): 1575-1578.
- [10] 高洪军, 朱平, 彭畅, 等. 等氮条件下长期有机无机配施对春玉米的氮素吸收利用和土壤无机氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(2): 318-325.
- [11] 张鑫, 郑成岩, 李升明, 等. 长期有机无机肥配施降低黄淮海区域小麦-大豆复种系统净温室效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(12): 2204-2215.
- [12] 李玉, 田宪艺, 王振林, 等. 有机肥替代部分化肥对滨海盐碱地土壤改良和小麦产量的影响[J]. 土壤, 2019, 51(6): 1173-1182.
- [13] 樊丽琴, 李磊, 吴霞, 等. 不同培肥措施对银北灌区土壤盐碱特性、玉米生长及产量指标的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(6): 120-128.
- [14] 刘艳, 李金胜, 王菊英, 等. 有机肥不同用量对黄河三角洲盐碱地杂交狼尾草产量和品质的影响[J]. 山东农业科学, 2014, 46(6): 89-92.
- [15] 宿庆瑞, 李卫孝, 迟凤琴. 有机肥对土壤盐分及水稻产量的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(4): 299-301.
- [16] 黄梓源, 王天野, 王呈玉, 等. 不同施肥处理对半干旱区土壤理化性质、玉米光合特性和产量的影响[J]. 华北农学报, 2020, 35(增刊): 234-240.
- [17] WEIER K L, MACRAE I C. Net mineralization, net nitrification and potentially available nitrogen in the sub-soil beneath a cultivated crop and a permanent pasture[J]. Soil Science, 1993, 44: 451-458.
- [18] 崔士友, 张蛟蛟, 冒宇翔. 不同盐分逆境下玉米产量及相关性状的表现[J]. 农学学报, 2016, 6(3): 6-11.