

王本龙,周春生,海 珍,等. 深松耕作和不同灌水量对通辽苏打盐碱地土壤理化性状和玉米产量的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(3):247–254.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2024.03.036

深松耕作和不同灌水量对通辽苏打盐碱地土壤理化性状和玉米产量的影响

王本龙^{1,2,3}, 周春生^{1,2,3}, 海 珍^{1,2,3}, 姜雨欣^{1,2,3}

(1. 内蒙古财经大学资源与环境经济学院, 内蒙古呼和浩特 010070; 2. 内蒙古财经大学资源与环境经济学院资源环境监测实验室, 内蒙古呼和浩特 010070; 3. 内蒙古财经大学祖国北疆资源利用与环境保护协调发展院士专家工作站, 内蒙古呼和浩特 010070)

摘要:为解决通辽苏打盐碱地土壤耕层变浅、理化性状恶化、产量低下等问题,基于通辽市科左中旗盐碱试验地,设置仅旋耕+2 100 m³/hm²灌水量(CK)、深松+1 500 m³/hm²灌水量(A1)、深松+2 100 m³/hm²灌水量(A2)、深松+2 700 m³/hm²灌水量(A3)4组处理,比较深松耕作和不同灌水量对于通辽苏打盐碱地土壤含水量、pH值、电导率、全盐量及玉米产量的影响。结果表明,相较于传统旋耕,深松耕作能够打破犁底层,播种前20~40 cm土层中,A1、A2、A3处理的土壤含水量较CK分别增加了-14.41%、23.42%、37.84%;收获后0~5、5~10、10~20 cm土层中,A2和A3处理的土壤pH值较CK分别降低了0.83%、2.14%、0.71%和0.70%、2.50%、1.06%,而A1处理较CK明显升高;收获后0~5、5~10、10~20 cm土层中,A1、A2、A3处理的电导率较CK明显降低,多数差异达显著水平($P < 0.05$);收获后0~40 cm土层中,A1、A2、A3处理的全盐量较CK明显降低,多数差异达显著水平;在玉米的产量构成要素中,A1、A2、A3处理的穗长、十穗鲜质量、穗周长、轴质量、纵向籽粒数、百粒鲜质量、百粒干质量和玉米产量较CK均有明显提升,其中以玉米产量提升最为显著,较CK分别提升了32.12%、27.98%、63.18%。深松耕作能够有效打破土壤犁底层,配合合理灌水量能够显著降低耕作层土壤盐分,同时大幅提升玉米产量。综上所述,深松耕作配合2 700 m³/hm²灌溉量(A3)为本试验盐碱地玉米种植的适宜处理。对于合理确定通辽盐碱地深松方案具有一定技术参考。

关键词:深松耕作;苏打盐碱地;玉米产量;灌水量

中图分类号:S156.4;S513.04 **文献标志码:**A **文章编号:**1002–1302(2024)03–0247–07

苏打盐碱地作为一种中低产农田,在对生态造成严重影响的同时,也遏制了农村农业经济的健康发展。土壤盐碱化使得土壤的理化性状发生恶化,致使土壤板结^[1]、渗透性差^[2]、水盐运动受阻^[3]。大片土地因此荒废无法种植作物,严重阻碍了当地农业农村经济的可持续发展,因此,如果能够找出有效的治理措施,将大大缓解农业用地压力和促进农村农业发展。深松作为保护性耕作的关键措施,可以增强团聚体的稳定性,改善土壤紧实度^[4],提

升水分利用效率以及土壤结构的稳定性^[5],提升土壤生产力^[6]。深松是构建合理耕层结构的有效改良技术,郑培峰等研究发现,40 cm深松可以明显提升土壤水分含量,延长绿叶期^[7];齐鹏等研究发现,深松耕作能显著提升地上生物量,同时显著降低根、叶的氮磷比^[8];焦凤丽研究发现,深松35 cm结合拔节期灌溉60 mm处理可明显提升华北平原冬小麦碳排放效率和水分利用效率^[9]。张凯等研究发现,相较于常规旋耕,深松处理使0~40 cm土层平均土壤容重降低5.0%,土壤孔隙度增加6.9%,田间持水量增加6.2%,饱和含水量增加6.2%^[10]。表明深松耕作可以有效改善土壤性状,并提升水分利用效率。通辽苏打盐碱地存在土壤结构差、高pH值、高盐含量等问题,玉米因为具有一定的耐盐碱性,成为了当地的主要作物,但是多年连作和传统旋耕导致玉米产量连年下降。本试验通过与常规旋耕相比,研究深松耕作和不同灌水量对通辽苏打盐碱地土壤含水量、pH值、电导率、全盐量的影响,因地制宜地探寻出一种适合当地的深松耕作模式,

收稿日期:2023–03–18

基金项目:内蒙古自治区农牧业厅项目(编号:202076);内蒙古自治区自然科学基金(编号:2022MS07008、2021MS05017、2019MS04020、2020MS05018、2020BS03001);内蒙古自治区直属高校基本科研业务费项目(编号:NCYWZ22009);内蒙古财经大学课题(编号:JXYB1922)。

作者简介:王本龙(1997—),男,安徽马鞍山人,硕士研究生,主要从事沙地及盐碱地土壤修复研究。E-mail:878423846@qq.com。

通信作者:周春生,博士,教授,主要从事土壤污染防治及膨润土应用技术方面的教学研究工作。E-mail:zhouchunsheng121@163.com。

实现土壤的良性生产,改善苏打盐碱地的土壤性状,提升玉米产量,增加农民收入,为深松耕作在苏打盐碱地上的改良提供理论参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于内蒙古自治区通辽市科左中旗花

吐古拉镇三家子村,属温带大陆性季风气候,四季分明。春季回暖快,多风沙;夏季雨热同步,雨量集中;秋季短促,降温快;冬季干冷漫长。地理坐标为122°08′59″E,43°49′51″N,高程 178.444 m,全年日照时数 2 891.7 h,年平均降水量 269.7 mm,年平均蒸发量 2 027 mm,年平均气温为 5.6 ℃。试验区土壤基本理化性质详见表 1。

表 1 试验区土壤基本性状

土层 (cm)	含盐量 (%)	pH 值	电导率 (μS/cm)	SAR (cmol/kg)	有机质含量 (%)	TN 含量 (mg/kg)	AP 含量 (mg/kg)	AK 含量 (mg/kg)
0~10	1.88	9.80	240.0	4.34	1.2	688.47	4.23	84.5
10~20	1.93	9.19	163.0	4.78	1.3	673.49	4.53	75.1
20~30	1.38	9.76	171.7	3.63	1.3	620.38	4.17	72.9
30~40	1.43	9.77	246.0	3.55	1.1	623.43	4.05	67.2

注:SAR 表示钠吸附比,TN 表示全氮,AP 表示有效磷,AK 表示有效钾。

1.2 试验设计

试验设计 4 个试验小区(表 2),试验区总面积为 7 000 m²。CK、A1、A2、A3 试验小区面积分别为 252.0、927.3、1 816.7、1 149.3 m²。耕作前施底肥:腐熟牛粪 5 m³/667 m²、硅肥 15 kg/667 m²、腐殖酸 15 kg/667 m²、尿素 40 kg/667 m²、磷酸二铵 40 kg/667 m²。耕作方式为深松,耕作深度为 40 cm。深松耕作后进行联合整地整平。试验玉米品种为京科 969,大小垄种植,大垄宽 80 cm、小垄宽 40 cm,于 2019 年 4 月 20 日播种,种植密度 5 000 株/667 m²,在 2019 年 10 月 14 日收获,结合内蒙古自治区地方标准 DB15/T 1382—2018《露地玉米浅埋滴灌技术规程》,按生育期进行设计灌水量次数及灌溉定额,灌溉制度详见表 3。

表 2 耕作方式及灌溉试验设计

处理	耕作方式	灌水量 (m ³ /hm ²)
CK	旋耕(深度 20 cm)	2 100
A1	深松(深度 40 cm)+旋耕(深度 20 cm)	1 500
A2	深松(深度 40 cm)+旋耕(深度 20 cm)	2 100
A3	深松(深度 40 cm)+旋耕(深度 20 cm)	2 700

1.3 测定指标及方法

分别在玉米播前、生育期、收获后使用土钻进行取样,取样点布置在垂直滴灌带方向上,距滴灌带中心 15 cm 处,取样点在实验处理小区的中央。取样深度为 0~40 cm,纵向间隔为 0~5、5~10、10~20、20~40 cm。取样后带到内蒙古财经大学资源环

表 3 滴灌灌溉制度表

生育期	灌水次数 (次)	灌水量(m ³ /hm ²)		
		A1	A2	A3
播种前	1	150	150	300
苗期	1	150	375	375
拔节期	2	300,300	300,375	375,450
抽雄期	0	0	0	0
灌浆期	2~3	300,300	375,375,150	450,375,375
灌溉定额	6~7	1 500	2 100	2 700

境监测试验室进行相关指标检测。室内主要测定土壤含水量、pH 值、电导率、全盐量。利用烘干法测定土壤含水量^[11]。用 PHS-3C 型 pH 计测定 pH 值;用 DDSJ-308A 电导率仪测定电导率;用残渣烘干法测定可溶性全盐含量^[12]。玉米产量测定时,成熟期在各小区中心 5 m×5 m 的区域采样用于考种,考查穗长、穗鲜质量、穗周长、轴质量、纵向籽粒数、横向籽粒数、百粒鲜质量、百粒干质量。各试验小区按实收穴数计产。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 和 Origin 2022 等软件进行分析处理,用 IBM SPSS Statistics 27.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 深松和灌水量对土壤含水量的影响

由表 4 可知,深松耕作和不同灌水量对土壤含水量有明显影响。深松耕作后土壤容积质量降低,

增加了土壤孔隙,土壤疏松透气,土壤含水量也随之发生变化。种植前,深松耕作后土壤疏松犁底层被打破,表层 0~20 cm 土层的土壤水分失墒较快。0~5 cm 土层土壤含水量较 CK 分别显著降低 66.67%、89.08%、89.66%;5~10 cm 土层土壤含水量较 CK 分别显著降低 72.22%、50.00%、47.22%;10~20 cm 土层土壤含水量较 CK 分别显著降低 87.78%、90.00%、84.44%;20~40 cm 土层土壤含水量较 CK 分别提高 -14.41%、23.42%、37.84%;深松处理与 CK 相比,播种前 0~40 cm 土层的土壤含水量均达到显著差异水平。收获后,不同深松灌水量处理相较于 CK 呈现不同变化,0~5 cm 土层土壤含水量较 CK 分别提升 1.89%、

-28.3%、5.66%;5~10 cm 土层土壤含水量较 CK 分别提升 -6.50%、-8.94%、4.07%;10~20 cm 土层土壤含水量较 CK 分别提升 -10.21%、-5.11%、5.11%;20~40 cm 土层土壤含水量较 CK 分别提升 -21.42%、-27.97%、1.79%。播种前深松耕作有效打破了土壤犁底层,表层土壤水分能够渗入深层土壤,盐分随着水分向深层土壤运移,有利于土壤进行排碱脱碱。收获后,CK 在 0~40 cm 土层的土壤含水量明显高于 A1 和 A2 处理(0~5 cm 土层的 A1 处理除外),原因可能是在同等灌水量下,深松耕作打破了土壤犁底层,土壤疏松多孔,水分向更深层土壤渗入,同时玉米植株发育成熟,所需水分增加。

表 4 不同处理对土壤含水量的影响

处理	取样时间	土壤含水量 (%)			
		0~5 cm	5~10 cm	10~20 cm	20~40 cm
CK	种植前	17.4±0.85a	7.2±0.79a	9.0±0.55a	11.1±0.64c
	收获后	10.6±0.80a	12.3±0.72a	13.7±0.50a	16.8±0.61a
A1	种植前	5.8±1.06b	2.0±0.65c	1.1±0.31b	9.5±0.70d
	收获后	10.8±0.70a	11.5±0.90a	12.3±0.70bc	13.2±0.78b
A2	种植前	1.9±0.36c	3.6±0.57b	0.9±0.30b	13.7±0.60b
	收获后	7.6±0.50b	11.2±0.70a	13.0±0.60ab	12.1±0.56c
A3	种植前	1.8±0.25c	3.8±0.31b	1.4±0.31b	15.3±0.40a
	收获后	11.2±0.40a	12.8±0.80a	14.4±0.41a	17.1±0.47a

注:表中数值为平均值±标准差;相同采样时间数据后不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。

2.2 深松和灌水量对土壤 pH 值的影响

图 1 为整个生育期内不同处理 0~5、5~10、10~20、20~40 cm 土层的土壤 pH 值变化,由图 1 可以看出,在出苗期(4 月 27 日),CK 在 0~40 cm 土层的土壤 pH 值明显高于深松处理;不同处理 0~40 cm 土层的土壤 pH 值在生育期结束时基本都小于生育期开始时。图 2 为收获后不同处理土壤 pH 值变化,由图 2 可知,A2、A3 处理较 CK 不同程度地降低了土壤 pH 值,收获后 0~20 cm 的土层中,A1 处理的 pH 值较 CK 有明显提升,增幅分别为 1.51%、1.42%、0.83%,A1 处理的 pH 值峰值集中在 0~5 cm 土层中,可能是 A1 处理灌水量较低,为 1 500 m³/hm²,较低的灌水量没有多余的水分将盐分向深层运移,因此盐碱在该层间聚集,导致该土层 pH 值较高。0~10 cm 土层中,A2、A3 处理的土壤 pH 值均显著低于 CK,A2、A3 处理在 0~20 cm 土层的 pH 值较 CK 分别降低了 0.83%、2.14%、0.71%和 0.70%、2.50%、1.06%,说明深松耕作搭配合理灌水量可显著降低耕层土壤 pH 值。

2.3 深松和灌水量对土壤电导率的影响

图 3 为整个生育期不同处理 0~5、5~10、10~20、20~40 cm 土层土壤电导率的变化,由图 3 可以看出,CK、A2 处理、A3 处理各土层在生育期间内电导率相对较均匀,差异较小。图 4 为收获后不同处理土壤电导率的变化,由图 4 可知,深松耕作处理较对照不同程度降低了 0~40 cm 土层的土壤电导率。0~20 cm 土层中,A1、A2、A3 处理的土壤电导率均显著低于 CK。深松处理搭配合理灌水量可有效降低土壤电导率,0~40 cm 土层土壤平均电导率表现为 CK>A1 处理>A2 处理>A3 处理。A1、A2、A3 处理在 0~5 cm 土层的土壤电导率较 CK 分别显著降低 66.87%、50.31%、55.62%,5~10 cm 土层土壤电导率较 CK 分别显著降低 66.42%、50.92%、53.87%,10~20 cm 土层土壤电导率较 CK 分别显著降低 30.68%、34.47%、35.98%,20~40 cm 土层土壤电导率较 CK 分别降低 12.13%、27.81%、49.11%。

2.4 深松和灌水量对土壤全盐量的影响

图 5 为整个生育期不同处理 0~5、5~10、10~

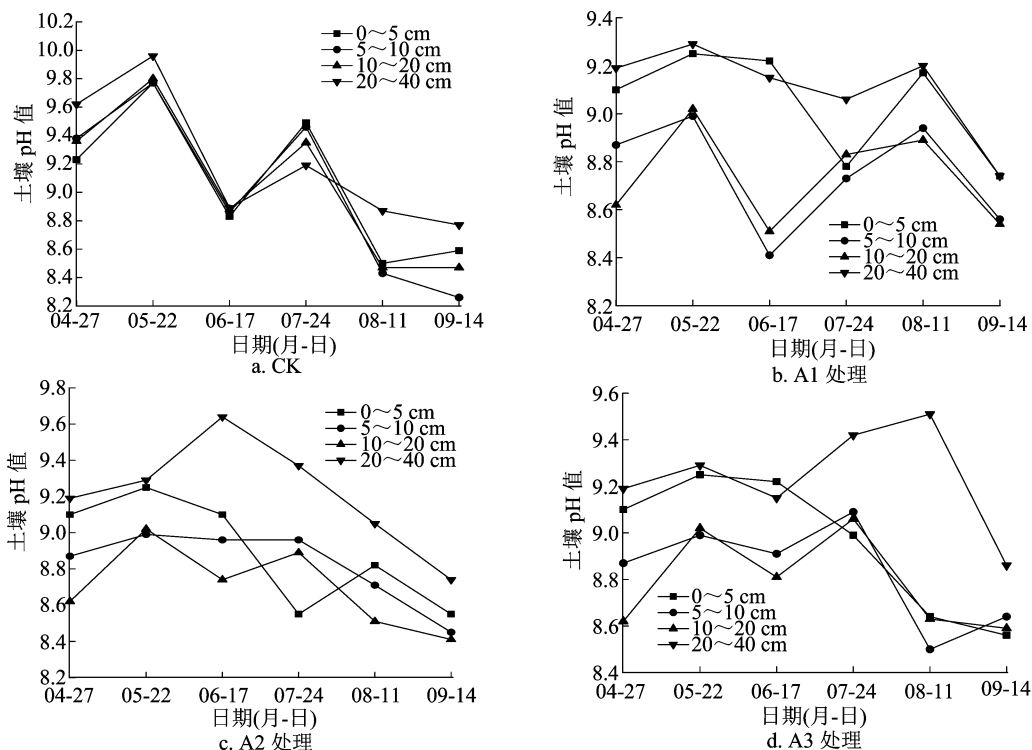
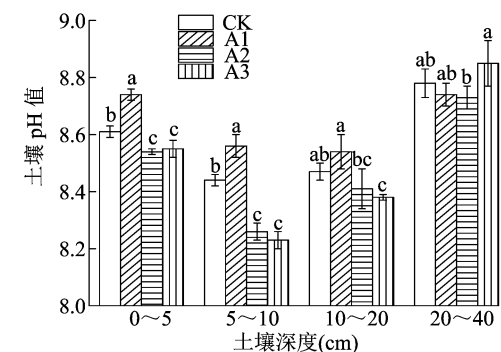


图1 生育期内不同处理土壤 pH 值变化



柱上不同小写字母表示同一深度处理间差异显著($P<0.05$)。

图4、图6同

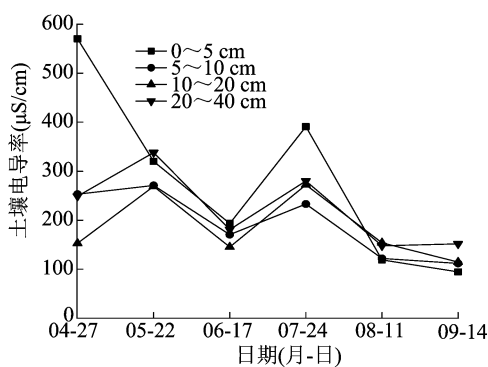
图2 不同处理收获后的土壤 pH 值

20、20~40 cm 土层土壤全盐量变化,由图 5 可以看出,在 7 月 24 日以后,深松耕作和对照旋耕呈现出 2 种不同的全盐量变化趋势,对照旋耕呈现先降低后增加的趋势,深松耕作则呈现出先增加后降低的趋势,深松耕作有效降低了生育期内 0~40 cm 土层的土壤全盐量(8 月 11 日除外,可能是深松耕作取样点为盐斑所致)。图 6 为收获后不同处理土壤全盐量变化,在 0~40 cm 土层中,深松耕作处理较 CK 不同程度降低了 0~40 cm 土层全盐量。0~40 cm 土层中,A2、A3 处理的土壤全盐量与 CK 均达显著差异水平,A1 处理由于灌水量较低,盐分堆积在 20~40 cm 土层中,无法淋洗到更深层土壤。当灌

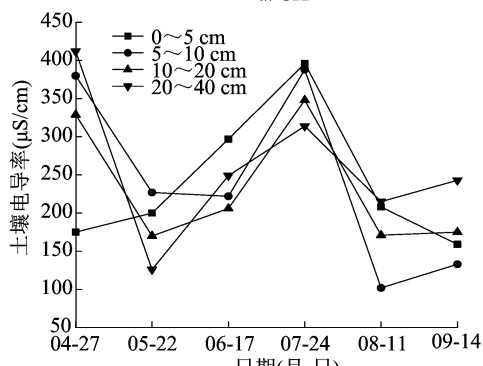
水量为 $2\,700\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 时,土壤 0~40 cm 土层全盐量均在 1.0 g/kg 以下。深松处理搭配合理灌水量可以显著降低土壤全盐量,在 0~40 cm 土层中土壤平均全盐量表现为 $\text{CK} > \text{A1 处理} > \text{A3 处理} > \text{A2 处理}$,A1、A2、A3 处理在 0~5 cm 土层的土壤全盐量较 CK 分别显著降低 42.11%、94.74%、84.21%,在 5~10 cm 土层的土壤全盐量较 CK 分别显著降低 42.11%、81.58%、73.68%,在 10~20 cm 土层的土壤全盐量较 CK 分别显著降低 25.81%、74.19%、67.74%,在 20~40 cm 土层的土壤全盐量较 CK 分别降低 6.67%、63.33%、73.33%。

2.5 深松和灌水量对玉米产量和产量组成因素的影响

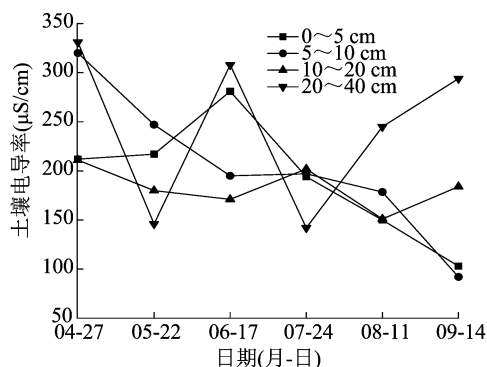
在玉米收获后,对玉米植株进行了考种分析,由表 5 可知,在玉米产量的组成因素中,深松耕作和不同灌水量处理的十穗鲜质量、穗周长、纵向籽粒数、产量明显提高。对玉米穗部分析可知,A2 处理的穗长最大(19.5 cm),其次是 A1 处理(18.3 cm),最后是 A3 处理(18.0 cm),均明显高于 CK,增幅分别为 19.63%、12.27%、10.43%;A2 处理的十穗鲜质量最大(2.7 kg),其次是 A3 处理(2.3 kg),最后是 A1 处理(2.1 kg),均明显高于 CK,增幅分别为 50.00%、27.78%、16.67%;A2 处理的穗周长最大



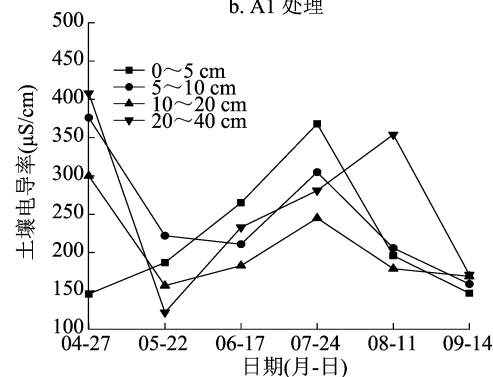
a. CK



c. A2 处理



b. A1 处理



d. A3 处理

图3 生育期内不同处理土壤电导率变化

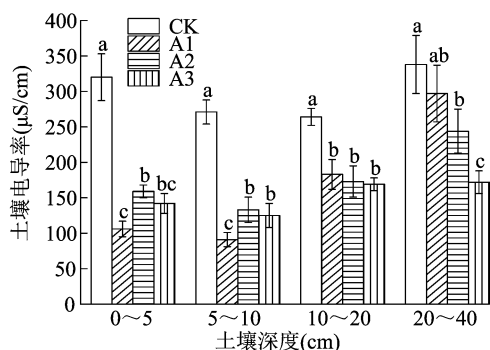


图4 收获后不同处理土壤电导率变化

9.11%、4.91%；A2 处理的百粒干质量最大(39.8 g)，其次是 A1 处理(38.2 g)，最后是 A3 处理(35.8 g)，较 CK 分别提升 12.11%、7.61%、0.85%。从产量上看，A3 处理的产量最高(1 021.7 kg/667 m²)，其次是 A1 (827.2 kg/667 m²)，最后是 A2 处理(801.3 kg/667 m²)，均显著高于 CK，增产率分别为 63.18%、32.12%、27.98%。

3 讨论与结论

深松耕作可以降低耕层土壤容重和土壤紧实度，增加土壤总孔隙度，保持深层土壤水分^[13]，土壤含水量是反映土壤水分状况的重要指标^[14]。崔文芳等研究发现，深松配合秸秆还田能有效提升蓄水能力，4 年间，土壤含水量年均增长 1.32%，土壤含水量比 CK 提升 2.09%^[15]；高鹏等研究发现，河套平原在秋季进行深松且深松深度为 50 cm 时水分利用效率提升了 29.63%^[16]。本研究发现，只有当深松配合 2 700 m³/hm² 灌水量时收获后各土层的土壤含水量较常规旋耕有所提升，原因可能是通过苏打盐碱地属于较特殊的盐碱土壤，表层(0~20 cm)土层的土壤为后天人为移植来的生土，而 20~40 cm 土层的土壤为盐碱地，土壤板结严重，水分无法下渗，因此表层的土壤含水量较高，深松耕作打破了

(9.1 cm)，A1、A3 处理间差异不大，分别为 8.6、8.5 cm，较 CK 分别显著提升 19.74%、13.16%、11.84%；A2 处理的三轴质量最大(106.4 g)，其次是 A3 处理(105.6 g)，最后是 A1 处理(100.6 g)，较 CK 分别提升 29.00%、28.00%、21.94%。对玉米籽粒分析可知，A2 处理的纵向籽粒数最大(36 粒/列)，其次是 A1 处理(33 粒/列)，最后是 A3 处理(32 粒/列)，较 CK 分别提升 33.33%、22.22%、18.52%；A2、A3 处理的横向籽粒数相同，均为 16 粒/行，A1 处理的横向籽粒数为 15 粒/行，较 CK 分别提升 14.29%、14.29%、7.14%；A1 处理的百粒鲜质量最大(47.0 g)，其次是 A2 处理(46.7 g)，最后是 A3 处理(44.9 g)，较 CK 分别提升 9.81%、

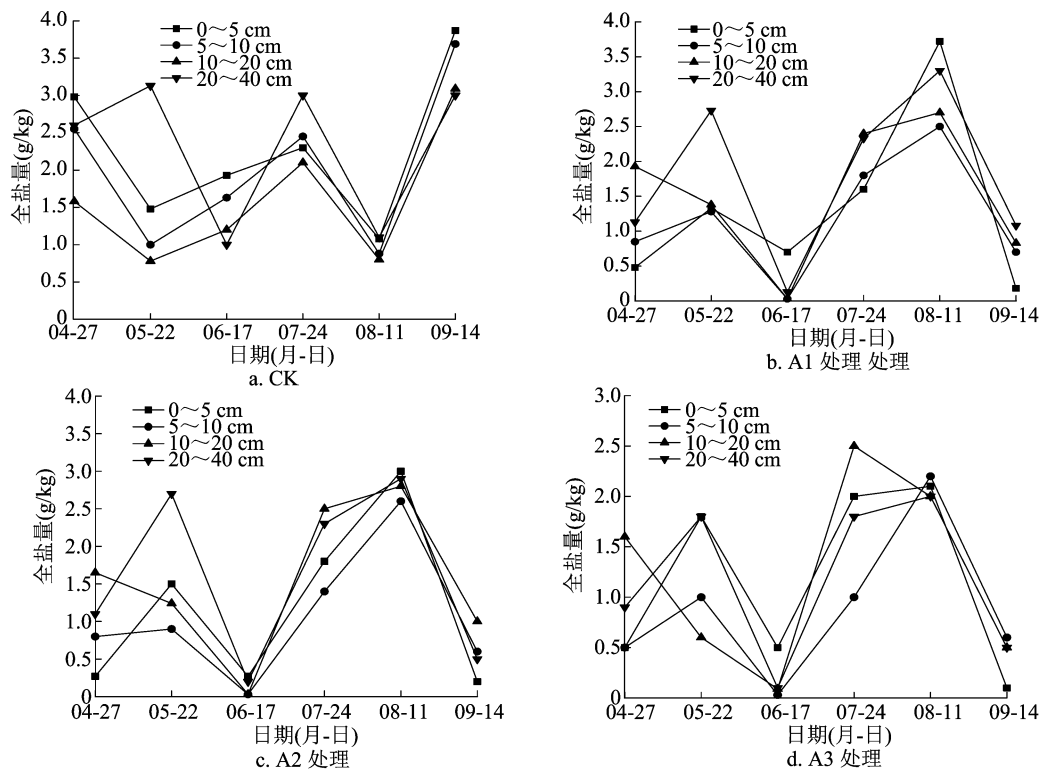


图5 生育期内不同处理土壤全盐量变化

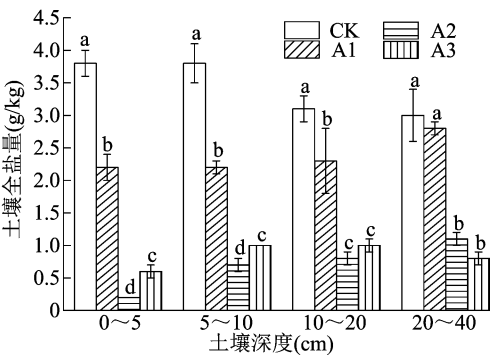


图6 不同处理收获后土壤全盐量

原有犁底层,增加了土壤的透水性和孔隙度,水分向深层的土壤渗透,因此表层的土壤水分失墒较快,只有在深松耕作配合大灌水量时才可以增加收获后土壤含水量,这与其他研究结果^[7,10]不完全一致。高盐、高pH值的盐碱地对于种子萌发和作物

生长有着盐碱胁迫作用^[17]。聂朝阳等研究发现,深松耕作协同物料添加可以显著降低0~40 cm土层的土壤pH值,改善耕层土壤结构,促进耕层土壤降碱排盐^[18];李瑞平研究发现,与免耕相比,深松降低了10~30 cm土层的土壤pH值^[19]。本研究也发现,在同一灌水量条件下,深松(A2处理)与常规旋耕(CK)的土壤pH值在0~5、5~10 cm土层中均存在显著差异,深松有效降低了土壤pH值,这与前人的研究结果^[18-19]一致。土壤电导率是反映盐碱化程度的一个综合性参考指标,在一定浓度范围内,水溶性含盐量与电导率呈正相关^[20]。本研究发现,在深松耕作的条件下,收获后当灌水量小于常规旋耕处理时,0~40 cm土层的土壤电导率仍明显低于常规旋耕处理,表明深松耕作可以通过疏通土层,将盐分排至耕作层以下,从而明显降低土壤电导

表5 不同处理对玉米产量的影响

处理	穗长 (cm)	十穗鲜质量 (kg)	穗周长 (cm)	三轴质量 (g)	纵向籽粒数 (粒/列)	横向籽粒数 (粒/行)	百粒鲜质量 (g)	百粒干质 量(g)	产量 (kg/667 m ²)	增产率 (%)
CK	16.3±3.36a	1.8±0.65b	7.6±0.55b	82.5±27.10a	27±5.51b	14±0.58b	42.8±3.82a	35.5±3.55a	626.1±143.56b	
A1	18.3±1.08a	2.1±0.42ab	8.6±0.20a	100.6±11.95a	33±0.58ab	15±0.58ab	47.0±3.23a	38.2±2.63a	827.2±165.53ab	32.12
A2	19.5±0.25a	2.7±0.57a	9.1±0.23a	106.4±6.25a	36±0.58a	16±1.00a	46.7±1.35a	39.8±0.72a	801.3±148.92ab	27.98
A3	18.0±1.61a	2.3±0.21ab	8.5±0.42a	105.6±11.21a	32±2.52ab	16±1.53ab	44.9±2.11a	35.8±1.68a	1 021.7±139.15a	63.18

注:同列数据后标有不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。

率,这与前人的研究结果^[21-22]保持一致。土壤全盐量作为衡量土壤盐碱度的一个重要指标,全盐量越高,土壤盐碱化程度越严重^[23]。Casas 等研究发现,阿根廷平原西北部的纳特拉夸尔夫地区深松耕作能够显著降低 0~30 cm 土层的土壤电导率及全盐量^[24];夏婷等研究发现,灌水定额 2 700 m³/hm² + 排盐沟 + 深松耕模式全盐和分盐的淋洗效果最佳^[25];本研究也发现,在深松耕作条件下,当灌水定额为 2 700 m³/hm² 时,收获后 0~40 cm 土层的土壤全盐量均显著低于常规旋耕处理,深松耕作能够有效降低土壤全盐量从而达到改良盐碱地的目的。

前人关于深松耕作对作物生长发育的影响做了大量研究。韩固等研究发现,深松 30~40 cm 覆盖秸秆处理可改善土壤水热状况,实现马铃薯增产增收^[26];Yu 等研究发现,深松耕作可以有效降低土壤容重,增加土壤孔隙度,进而提高玉米的籽粒产量^[27];Jiao 等研究发现,深松 35 cm 显著提高了玉米的行粒数和千粒质量,进而提高了玉米的产量及叶片的水分利用效率^[28]。本研究也发现,深松耕作促进了玉米的生长发育,穗长、穗鲜质量和产量提高,其中深松配合 2 700 m³/hm² 灌水量处理下的产量提升最大,增幅达到 63.18%。主要原因是深松耕作以后土壤变得疏松,土壤透水透气性增加,盐碱度降低,较大的灌水量也进一步加快了盐分的运移,为玉米的生长发育提供了有利条件。

因此,综合上述讨论可以得出以下结论:(1)在第 1 次收获后的 0~40 cm 土层中,同为 2 100 m³/hm² 灌水量时,深松耕作相较于旋耕,能够显著降低土壤的 pH 值和全盐量,促进苏打盐碱耕地脱碱排碱,改善土壤理化性状。(2)深松耕作能够促进玉米生长发育,提升通辽苏打盐碱地玉米产量。不同处理的玉米产量均明显高于 CK,尤其以 A3 处理最为明显,产量显著提升 63.18%。综合试验数据,考虑深松耕作及不同灌水量对盐碱地土壤水盐分布及玉米产量的影响,研究认为在深松深度 40 cm 的条件下灌水 2 700 m³/hm² 比较适宜,既可淋洗盐分至耕作层以下,亦可大幅提高玉米产量及节约当地水资源。

参考文献:

- [1] 孙雪,董永华,王娜,等.耐盐碱促生菌的筛选及性能[J].生物工程学报,2020,36(7):1356-1364.
- [2] 屈忠义,孙慧慧,杨博,等.不同改良剂对盐碱地土壤微生物与加工番茄产量的影响[J].农业机械学报,2021,52(4):311-

- 318,350.
- [3] 徐璐.耕作及石膏对苏打盐碱土改良作用研究[D].哈尔滨:中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所),2012:5-6.
- [4] 邓子正,黄明镜,张吴平,等.旱作条件下保护性耕作对土壤结构和容重影响试验研究[J].土壤通报,2023,54(1):46-55.
- [5] 何进,李洪文,高焕文.中国北方保护性耕作条件下深松效应与经济效益研究[J].农业工程学报,2006,22(10):62-67.
- [6] 崔建平,程强,陈平,等.深松条件下滴灌频次对土壤理化指标及棉花产量的调节效应[J].水土保持学报,2019,33(1):263-269,276.
- [7] 郑培峰,张晓龙,司雨,等.深松对三江平原春玉米田土壤水分和产量的影响[J].水土保持研究,2023,30(1):297-303.
- [8] 齐鹏,王晓娟,郭高文,等.深松耕对玉米根茎叶氮磷比及地上生物量的影响[J].农业工程学报,2021,37(17):82-89.
- [9] 焦凤丽.深松及灌溉制度对冬小麦碳水利用效率的影响[D].泰安:山东农业大学,2022:15-16,19-20.
- [10] 张凯,刘战东,强小曼,等.耕作方式和灌水处理对冬小麦—夏玉米水分利用及产量的影响[J].农业工程学报,2019,35(17):102-109.
- [11] 张甘霖,龚子同.土壤调查实验室分析方法[M].北京:科学出版社,2012.
- [12] 王杰,黑玉龙,黄文娟等.不同生境下胡杨树体离子平衡及其与土壤因子关系[J/OL].生态学杂志(2023-04-10)[2023-06-01].<https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=jeDOxXNM7I4tfid29VSorOVtqeR-Qbf6fPqyet3uuWh1EPz-S080DrRf0z7lc0O9Pz-a085g7Ceeuhc0ib9pu59BusHNTK6rcC4aDnEOJzERnRzFKZeytw=&uniplatform=NZKPT&language=gb>.
- [13] 李永贤,张晓云,吴开贤,等.深松耕对石灰岩红壤物理性状和玉米生长发育的影响[J].云南农业大学学报(自然科学),2021,36(2):189-196.
- [14] 王东磊.施肥对科尔沁退化草地植被功能群特征及土壤理化性质的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2022:23.
- [15] 崔文芳,于晓芳,王志刚,等.秸秆还田与耕作方式对内蒙古平原灌区玉米田土壤质量的影响[J].江苏农业科学,2023,51(2):217-224.
- [16] 高鹏,孙继颖,高聚林,等.深松对春玉米田土壤贮水性能及玉米子粒水分利用效率的影响[J].玉米科学,2022,30(4):90-96.
- [17] 刘江汉,何文寿.粉垄耕作对土壤性质及马铃薯产量的影响[J].东北农业科学,2020,45(2):20-25.
- [18] 聂朝阳,杨帆,王志春,等.耕作协同物料添加对苏打盐碱化耕地土壤理化性质的影响[J].干旱地区农业研究,2023,41(1):235-243.
- [19] 李瑞平.吉林省半湿润区不同耕作方式对土壤环境及玉米产量的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2021:41-42.
- [20] 刘月华,位晓婷,钟梦莹,等.甘南高寒草甸草原不同海拔土壤理化性质分析[J].草原与草坪,2014,34(3):1-7.
- [21] 原程.不同中耕措施对土壤理化性质及大豆生长的影响[D].大庆:黑龙江八一农垦大学,2022:24-26.
- [22] 王研.暗管改良苏打盐碱土机理与技术[D].长春:吉林农业大学,2017.
- [23] 李凯.硅酸钙与生物有机肥配施对盐碱土改良效果研究

张翔,黄媛媛,宋聪,等. 长期施加钾肥对小麦产量、氮磷钾吸收量及根际土壤微生物多样性的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(3):254–260.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2024.03.037

长期施加钾肥对小麦产量、氮磷钾吸收量及根际土壤微生物多样性的影响

张翔^{1,4}, 黄媛媛¹, 宋聪^{1,2,4}, 贾振华^{1,4}, 贾良良³, 宋水山^{1,4}

(1. 河北省科学院生物研究所, 河北石家庄 050081; 2. 河北师范大学生命科学学院, 河北石家庄 050000;

3. 河北省农林科学院资源环境研究所, 河北石家庄 050000; 4. 河北省主要农作物病害微生物控制工程技术研究中心, 河北石家庄 050081)

摘要:为了研究长期施加钾肥对小麦产量、氮磷钾吸收量以及小麦根际土壤微生物多样性的影响,利用高通量测序技术,对河北省农林科学院辛集市马兰农场钾肥定位试验田的 8 个小麦根际土壤样品进行测序,得到 2 组样品的微生物群落组成信息,结合河北省农林科学院资源环境研究所提供的小麦产量和品质数据,进行相关性分析。结果表明,在 NP 组(不施加钾肥)优势细菌菌群集中在疣微菌门(Verrucomicrobia),优势真菌菌群集中在毛壳菌科(Chaetomiaceae)、锥盖伞属(*Conocybe*)以及被孢霉目(Mortierellales)。而 NPK 组(施加钾肥)的优势细菌菌群集中在假诺卡氏菌科(Pseudonocardiaceae)、Terrimonas,优势真菌菌群集中在光柄菇科(Pluteaceae)、花褶伞属(*Panaeolus*)。在细菌属水平上,2 组间差异较大的细菌属有 15 种,其中 NP 组显著增多的是 *Terrabacter*、长绳菌属(*Longilinea*)、硝化螺旋菌属(*Nitrospira*)、狭义梭菌属(*Clostridium sensu stricto*)、*Mangroviflexus*、*Rhizorhabdus*、*Tahibacter*,而 NPK 组显著增多的是 *Methyloceanibacter*、*Terrimonas*、德克斯氏菌属(*Derxia*)、伦茨氏菌属(*Lentzea*)、*Chryseolinea*、间孢囊菌属(*Intrasporangium*)、*Maricaulis*、纤维微杆菌属(*Cellulosimicrobium*)。在真菌属水平上,差异显著的只有 NP 组中较多的毛壳菌属(*Chaetomium*)和球腔菌属(*Phaeosphaeria*)。结合小麦产量和养分数据可以得出,钾肥可以提高小麦的产量和氮磷钾吸收量,而参与小麦吸收钾元素的菌群应该有 *Ohtaekwangia*、Gp3、其他菌属和一些未知细菌菌属,以及毛球壳科的一个未知菌属(unclassified_Lasiosphaeriaceae)、未知真菌菌属(unclassified_Fungi)和地星科的一个未知菌属(unclassified_Geastraceae)等真菌菌属。

关键词:钾肥;小麦根际土壤;微生物多样性;高通量测序;冗余分析

中图分类号:S512.106 **文献标志码:**A **文章编号:**1002–1302(2024)03–0254–07

土壤是农业的根基,是农业生产重要的组成部分。土壤中的微生物更是参与了农作物生长发育

的各个阶段^[1]。土壤微生物主要包括真菌、细菌、古菌、病毒、原生动物以及藻类^[2]。它们在土壤的碳循环、氮循环、硫循环以及有机质的分解和转化过程中扮演着重要的角色^[3]。土壤微生物种类繁多、功能多样,是衡量土壤健康质量的重要指标^[4]。在农业研究上,耕地土壤微生物已经受到了很多的关注,其中利用高通量二代测序技术了解土壤微生物多样性已经得到了广泛的应用^[5]。该技术可以检测出土壤中的所有微生物的相对丰度,通过对土

收稿日期:2023–04–06

基金项目:河北省科技计划(编号:20567614D);河北省创新能力提升计划(编号:18967685D);河北省科学院科技支撑计划(编号:23305)。

作者简介:张翔(1990—),男,河北石家庄人,硕士,助理研究员,主要从事土壤微生物组学研究。E-mail:703628317@qq.com。

通信作者:宋水山,博士,研究员,主要从事植物与微生物互作研究。E-mail:Shuishans620@163.com。

[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2018:17.

[24] Casas R R, Baridón J E. Salinity dynamics in subsoiled soils of the northwest of the Argentine Pampean Plain[J]. International Journal of Plant & Soil Science, 2021, 33(15): 51–59.

[25] 夏婷, 杨建国, 魏玉清. 早作盐碱农田洗盐措施效果评价[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(9): 228–231.

[26] 韩固, 苗芳芳, 王楠, 等. 宁南旱区耕作覆盖对马铃薯产量及土壤水热特征的影响[J]. 应用生态学报, 2022, 33(12):

3352–3362.

[27] Yu X F, Qu J W, Hu S P, et al. The effect of tillage methods on soil physical properties and maize yield in Eastern Inner Mongolia[J]. European Journal of Agronomy, 2023, 147: 126852.

[28] Jiao F L, Hong S Z, Zhang Q F, et al. Subsoiling before winter wheat cultivation increases photosynthetic characteristics and leaf water-use efficiency of summer maize in a double-cropping system[J]. Archives of Agronomy and Soil Science, 2023, 69(6): 847–860.