

张曼玉,杨海昌,张风华,等. 秸秆还田对棉花全生育期土壤水盐分布及产量的影响[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(5): 113-121.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2023.05.013

秸秆还田对棉花全生育期土壤水盐分布及产量的影响

张曼玉,杨海昌,张风华,于善超,孙静,曹政

石河子大学农学院,石河子 832003

摘要 为探究秸秆还田对新疆盐渍化土壤降盐保水的作用,通过田间小区试验,设置6种处理:不还田(CK)、棉花秸秆还田(P1)、玉米秸秆还田(P2)、油菜秸秆还田(P3)、棉花秸秆还田+玉米秸秆还田(P12)、棉花秸秆+油菜秸秆还田(P13),分别测定各处理对棉花全生育期0~60 cm土层含水量、电导率、脱盐率、盐基离子含量以及棉花水分利用效率、产量的影响。结果显示:P12、P13处理较其他处理可增强土壤的蓄水能力,随着土壤深度的增加,含水量差异逐渐减小。相比CK处理,P12、P13处理土壤含水量分别提高了3.78%~15.03%、5.06%~18.23%。在棉花全生育期,P12、P13处理可提高0~20 cm土层的脱盐率,电导率较CK处理分别降低3.54%~39.27%、17.83%~40.01%。土壤盐基离子含量呈现出 $Na^+ > Ca^{2+} > K^+ > Mg^{2+}$ 的规律,盐基离子中的 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 含量具有表聚性。相关性分析显示,调控棉花土壤水盐环境(含水量、电导率、脱盐率)可以增加作物水分利用效率,提高产量。结果表明,P12、P13处理较其他处理更能显著增强棉花生育期内农田土壤持水能力并改善盐分分布状况,适合新疆地区盐渍土改良。

关键词 盐碱土壤改良; 秸秆还田; 水盐分布; 水分利用效率; 产量; 棉花

中图分类号 S562; S505 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2023)05-0113-09

新疆盐碱地面积已达2 810万 hm^2 ,占全国盐碱地面积的近1/3,严重影响农业耕地的可持续发展^[1]。为减轻盐胁迫对作物的影响,常通过各种改良措施降低耕层土壤的含盐量。秸秆还田作为改良措施之一,具有污染小、成本低、推广潜力大的优势^[2]。

新疆地区秸秆资源丰富,每年秸秆收集量约为3 137.4万t,还田的秸秆以棉花、玉米、小麦、油菜为主^[3]。不同的秸秆还田方式对土壤水盐状况的改善效果各异。杨东等^[4]研究发现,秸秆覆盖和深埋相结合的还田方式相比秸秆全量覆盖或秸秆全量深埋还田更有利于淡化土壤耕层盐分,对0~30 cm土层保墒效果明显。“小麦高留茬+玉米粉碎还田”有利于土壤固碳,提高各土层的碳库管理指数^[5]。但目前新疆地区关于秸秆还田改良盐碱地的研究大部分基于单一作物秸秆还田,而不同类型的秸秆具有不同的理化性质,部分研究表明,豆科与禾本科秸秆混合还田后有利于土壤中有机碳的转化与固持^[6]。小麦秸秆+玉米秸秆共同还田相比玉米秸秆(或者小麦秸

秆)单独还田可以增加土壤线虫的数量和多样性,提高土壤的抗干扰能力^[7]。土壤水盐问题是盐碱地改良的关键因子,而多种秸秆共同还田对作物生育期内各土层水盐状况的影响仍不明确。

因此,本研究通过田间小区试验,在单种秸秆还田的基础上,设置多种秸秆共同还田,分析秸秆还田对棉花全生育期含水量、电导率、盐基离子、脱盐率、水分利用效率及产量的影响,以筛选最佳秸秆还田方式,为新疆地区秸秆还田提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究于2021年5月在新疆石河子市北泉镇(44°95'E, 85°99'N)开展,研究区气候干旱,属于温带大陆性干旱气候。年平均降雨量为140 mm,年平均蒸发量为1 500 mm。降雨量集中在5—7月,年平均气温在6.3℃。5—10月平均降水量为20.5 mm,平均气温为20.31℃,高温天气集中于6—8月(2021年)。研究区土壤盐渍化以中度、重度盐渍化为主,

收稿日期: 2022-11-08

基金项目:国家自然科学基金项目(42167036);兵团科技计划项目(2022ZD055);新疆维吾尔自治区重点研发计划项目(2022B02020-1)

张曼玉, E-mail: 2574002693@qq.com

通信作者: 杨海昌, E-mail: yhc2012@126.com

土壤盐分多集中0~20 cm土层,严重影响当地作物生长及产量^[8]。试验区0~60 cm土层土质较均匀,为砂壤土,0~20、20~40、40~60 cm土层盐分含量分别为31.61、15.82、10.52 g/kg。其他理化性质见表1。

表1 研究区0~60 cm土层土壤理化性质

Table 1 Soil physical and chemical properties of 0-60 cm soil layer in the study area

土层/cm Soil layer	pH	EC/ (mS/cm)	含水量/% Water content	容重/(g/cm ³) Bulk density	有机质/(g/kg) Organic matter	碱解氮/(mg/kg) Alkali-hydrolyzed nitrogen	速效钾/(g/kg) Available potassium	速效磷/(g/kg) Available phosphorus
0~20	8.26	8.90	25.70	1.36	6.24	11.94	109.35	3.12
20~40	8.63	4.40	23.69	1.35	3.53	18.72	163.84	3.42
40~60	8.88	2.89	22.02	1.43	2.94	14.02	144.31	3.57

1.2 试验设计

供试作物为棉花,品种为当地主栽品种(新陆中35号)。田间种植为“一膜三管六行”的种植模式,灌水方式为膜下滴灌,地膜宽2.05 m,膜间宽行为30 cm。棉花株距10 cm,播种深度3 cm。播种时间为2021年5月3日,收获时间为2021年10月3日。试验期间棉花灌溉用水来自地下水。灌溉水的电导率为0.43 mS/cm,pH 7.98。棉花生育期灌水、施肥等其他管理措施与大田保持一致。

棉花秸秆、玉米秸秆、油菜秸秆于作物收获后晾干,粉碎为长度0~4 cm,备用。设置6个处理,分别为:CK(秸秆不还田)、P1(棉花秸秆22 kg)、P2(玉米秸秆22 kg)、P3(油菜秸秆22 kg)、P12(棉花秸秆11 kg、玉米秸秆11 kg)、P13(棉花秸秆11 kg、油菜秸秆11 kg)。于2020年10月8日进行还田,每个处理3个重复,共18个小区,小区面积均为30 m²(5 m×6 m)。各小区之间设置1 m保护行以减少小区之间土壤水分横向运动的影响。秸秆与土层深度0~20 cm的土壤进行混合还田。

1.3 测试项目和方法

于棉花苗期、蕾期、花铃期和吐絮期分别进行采样,土壤样品采集位置为距离滴灌带滴头水平方向10 cm处,采样土层深度分别为0~20、20~40、40~60 cm,将每个小区的同—土层土壤样品进行充分混合,形成一个混合样品,采用“四分法”处理,保留1 kg。土壤样品分别装入自封袋,做好标记,带回实验室,一部分用于质量和含水量的测定;另一部分放置阴凉干燥处自然风干,过孔径1 mm筛后备用^[9]。

土壤样品基本理化性质采用常规方法测定,其中,土壤含水量采用烘干称质量法测定;土壤-水按质量比=1:5振荡后,使用DDSJ-307型数显电导率仪测定土壤电导率;土壤含盐量采用残渣烘干质量法测定^[9],并计算土壤脱盐率;土壤交换性K⁺、Na⁺含量采用火焰光度计测定;Mg²⁺、Ca²⁺含量采用

EDTA滴定法。

参照张秀等^[11]的方法,分别测定土壤贮水量、水分利用效率、农田总耗水量。

棉花产量计算公式为:单位面积籽棉产量=植株密度×单株铃数×单铃质量。

1.4 数据处理与分析

采用Excel 2017和SPSS19.0软件对试验数据进行数据整理和分析,应用单因素分析法分析数据的差异显著性,采用Duncan's法进行多重比较。采用Origin 2017软件进行图表绘制。

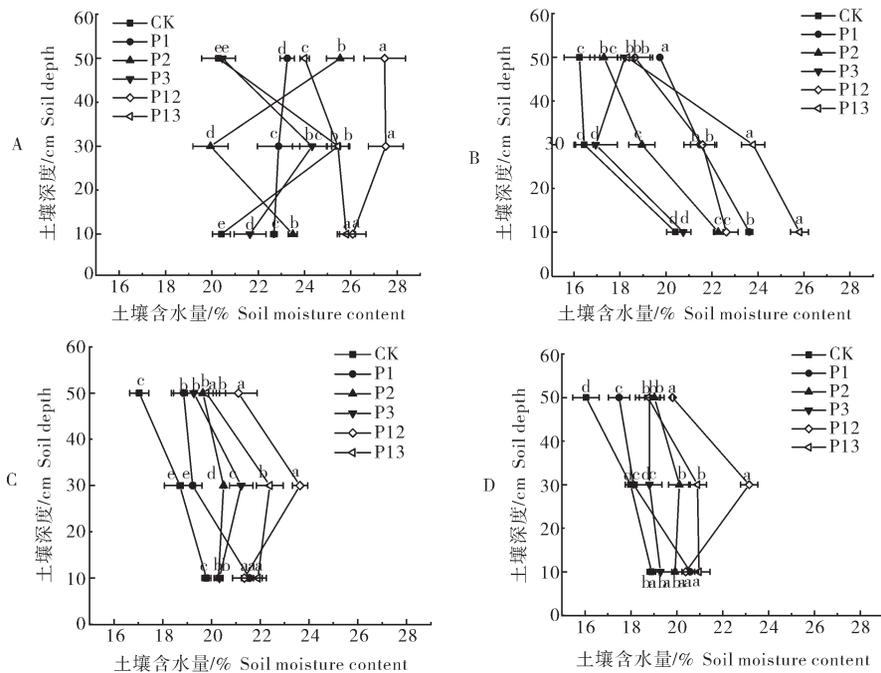
2 结果与分析

2.1 秸秆还田对土壤含水量的影响

秸秆还田下棉花不同生育期土壤剖面含水量变化见图1。由图1可知,相比CK,各处理提高了土壤含水量,P1、P2、P3、P12、P13分别提高0.37%~9.73%、2.64%~11.46%、0.13%~7.94%、3.78%~15.03%、5.06%~18.23%,随着土壤深度的增加,各处理之间差异逐渐降低。P12、P13处理在苗期一吐絮期表层土壤含水量随生育期呈持续降低的趋势,试验区土壤持续蒸发,导致表层土壤水分减少,P12、P13处理相比其他处理降低幅度变小,秸秆还田措施在一定程度上阻碍了深层土壤水分的上移。20~40 cm土层,P12、P13处理土壤含水量始终高于其他处理,且随着生育期的延长,各处理之间土壤含水量差异显著。综上,当2种不同的秸秆共同还田时,秸秆分解会产生相互作用,P12、P13处理相比其他处理更有利于提高土壤蓄水能力。

2.2 秸秆还田对土壤电导率的影响

秸秆还田下棉花不同生育期土壤剖面的电导率变化见图2。由图2可知,在棉花整个生育期,各处理不同土层的电导率均有增加的趋势,出现积盐的现象,但不同处理的积盐程度不同。相比CK,各处理可显著降低0~20 cm土层电导率,P1、P2、P3、P12、P13



A:棉花苗期;B:棉花蕾期;C:棉花花铃期;D:棉花吐絮期。不同字母表示同一时期不同处理之间的差异($P < 0.05$)。下同。A: The picture shows the seedling stage of cotton; B: The picture shows the cotton bud stage; C: The picture shows the cotton flowering and bolling stage; D: The picture shows the batting stage of cotton. The different letters indicate the difference between different treatments in the same period ($P < 0.05$). The same as below.

图1 秸秆还田下棉花不同生育期土壤剖面含水量的变化

Fig. 1 Soil profile water content changes of cotton at different growth stages under straw returning

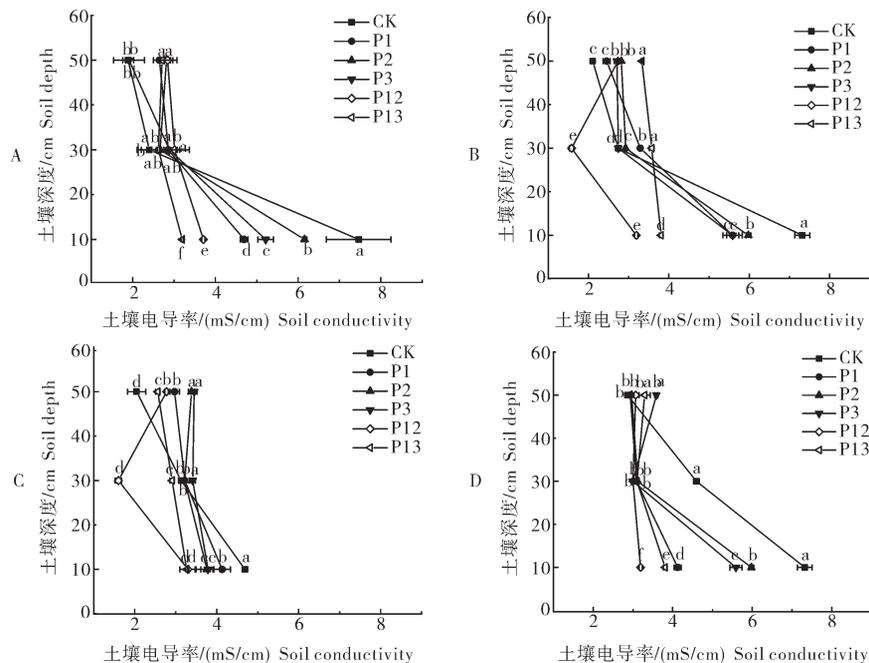


图2 秸秆还田下棉花不同生育期土壤剖面电导率的变化

Fig. 2 Changes of EC in 0-60 cm soil layer of cotton at different growth stages under straw returning

处理分别降低了13.42%~40.00%、1.80%~24.62%、0.40%~7.94%、17.40%~39.27%、6.05%~8.39%。P12、P13处理0~20 cm土层电导率降低趋势显著，此还田措施相比其他措施可以促进盐分淋洗到土壤深层。0~20 cm土层CK处理电导率含量在花

铃期降低随后在吐絮期显著增加。盐分以水为载体,受蒸发的影响,吐絮期深层土壤盐分上移,在0~20 cm 土层盐分聚集。P12、P13处理的降盐效果显著优于其他处理。

2.3 秸秆还田对土壤脱盐率的影响

由表2可见,各处理的脱盐效果在0~60 cm 土层有较大差别。0~20 cm 土层P1、P2、P3、P12、P13处理含盐量均有所减少,其中P13、P12处理脱盐率高于其他处理,分别为18.44%和13.53%,CK处理脱盐率最低,为2.87%,0~20 cm 土层P12、P13处理脱盐率分别为-1.00%和-7.45%,而P1、P2、P3处理脱盐率分别为-7.63%、-6.48%和-3.67%。40~60 cm 土层CK脱盐率为-48.47%,积盐效果最严重,而其他还田处理在此土层含盐量也同样有所增加,但低于CK。综上,经秸秆还田后,0~20 cm 土层脱盐率高于20~40 cm 土层和40~60 cm 土层,CK盐分多集中在40~60 cm 土层。P12和P13处理在0~20 cm 土层脱盐效果高于其他还田措施。

2.4 秸秆还田土壤剖面交换性盐基离子分布

土壤中交换性K⁺分布影响当季作物对速效钾的吸收。秸秆还田对0~60 cm 土层交换性K⁺分布的影响见图3所示。由图3可知,土壤交换性K⁺具有表聚性,含量均随土层深度的增加呈降低趋势。在苗期和蕾期,0~20 cm 土层P13处理土壤交换性K⁺含量低于P1、P3处理,P12处理低于P1、P2处理,

表2 不同土层深度在收获期的土壤盐分与脱盐率

Table 2 Soil salinity and desalination rate of different soil layers at harvest time

处理 Treatments	指标 Indicators	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
CK	盐分/(g/kg) Salt	23.89	11.67	8.19
	脱盐率/% Desalting rate	-1.89	-0.87	-0.48
P1	盐分/(g/kg) Salt	16.65	11.31	10.04
	脱盐率/% Desalting rate	11.86	-7.63	-0.10
P2	盐分/(g/kg) Salt	19.57	10.85	10.89
	脱盐率/% Desalting rate	2.87	-16.48	-5.10
P3	盐分/(g/kg) Salt	18.09	10.95	10.61
	脱盐率/% Desalting rate	7.01	-3.67	-82.90
P12	盐分/(g/kg) Salt	12.13	8.45	10.40
	脱盐率/% Desalting rate	13.53	-1.00	-7.62
P13	盐分/(g/kg) Salt	12.74	11.09	11.26
	脱盐率/% Desalting rate	18.44	-17.45	-5.32

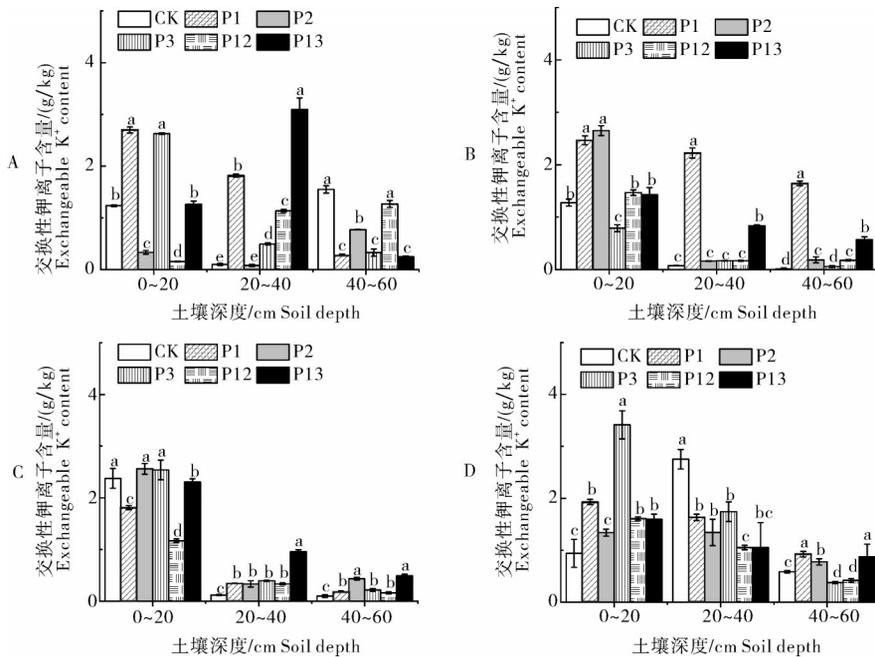


图3 棉花不同生育期土壤交换性钾离子的剖面分布

Fig. 3 Profile distribution of exchangeable K⁺ in soil of cotton at different growth stages

20~40 cm 土层 P13 处理土壤交换性 K⁺ 含量高于 P1、P3 处理, P1 处理高于 P12、P2 处理, 表明土壤交换性 K⁺ 含量在土壤中的丰缺程度受秸秆还田措施影响较大, 且 P13、P12 处理更有利于 20~40 cm 土层中 K⁺ 含量的增加, 40~60 cm 土层作用效果不显著。

秸秆还田土壤剖面交换性 Na⁺ 含量变化见图 4。由图 4 可知, 0~20 cm 土层, 苗期—花铃期, P1、P3 处理土壤交换性 Na⁺ 含量高于 P13 处理, P1、P2 处理土

壤交换性 Na⁺ 含量高于 P12 处理, 即 P12、P13 处理的交换性 Na⁺ 含量低于其他还田措施, 20~40 cm 土层, 苗期—蕾期, P13 处理土壤交换性 Na⁺ 含量高于 P1、P3 处理, P12 处理在苗期土壤交换性 Na⁺ 含量高于 P1、P2 处理, 在蕾期低于 P1、P2 处理。说明交换性 Na⁺ 在 0~20、20~40 cm 土层的丰缺程度受不同还田措施影响, 但主要影响棉花苗期和蕾期, 对花铃期和吐絮期影响效果不显著。

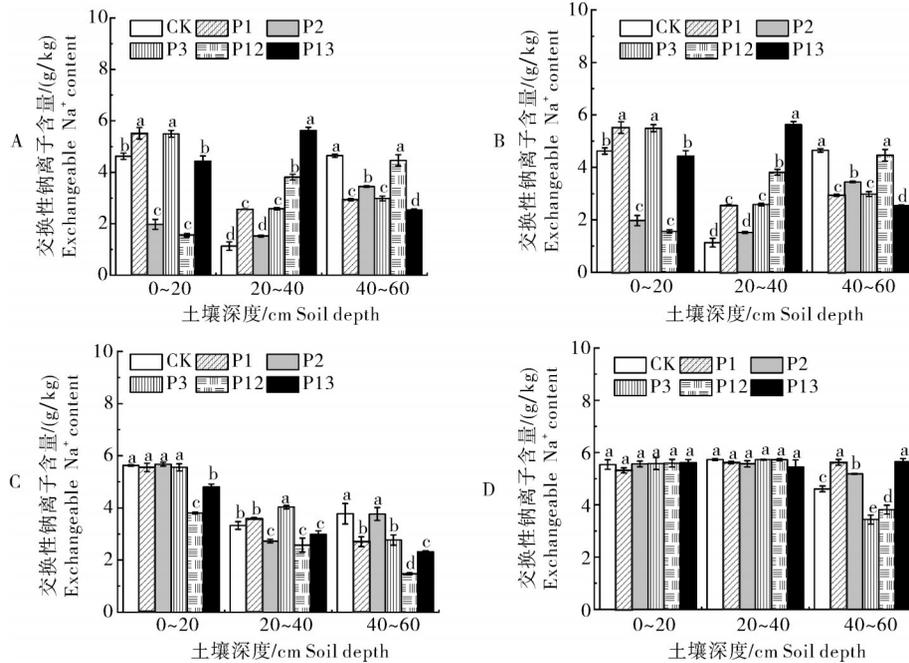


图4 棉花不同生育期土壤交换性钠离子的剖面分布

Fig. 4 Profile distribution of exchangeable Na⁺ in soil of cotton at different growth stages

秸秆还田土壤剖面交换性 Ca²⁺ 含量的变化见图 5。由图 5 可知, 该研究区土壤交换性 Ca²⁺ 占盐基总量的比例较大, 盐基离子以 Ca²⁺ 为主。棉花苗期、蕾期内 P12、P13 处理在 20~40、40~60 cm 土层土壤交换性 Ca²⁺ 含量均低于 CK 处理, 在棉花花铃期、吐絮期土壤交换性 Ca²⁺ 含量高于 CK 处理。且 CK 处理土壤交换性 Ca²⁺ 含量在 0~20 cm 土层高于 20~40、40~60 cm 土层。各处理对比后发现, 棉花花铃期和吐絮期, P12、P13 处理 0~20 cm 土层土壤交换性 Ca²⁺ 含量低于其他还田措施。

秸秆还田土壤剖面交换性 Mg²⁺ 含量的变化见图 6。由图 6 可知, CK、P1、P3 处理在 0~20 cm 土层土壤交换性 Mg²⁺ 含量分别占全剖面的 50.66%、44.28%、52.74%, 表明该还田措施下土壤交换性 Mg²⁺ 的表聚性较强。还田措施交换性 Mg²⁺ 含量随土层深度增加变化的差异较大, 其中, 在苗期和蕾期, 0~20 cm 土层 P3、P12 处理交换性 Mg²⁺ 含量高

于其他处理, 20~40 cm 土层 P13 处理 Mg²⁺ 含量低于 P1 和 P3 处理, 40~60 cm 土层 P12、P13 处理 Mg²⁺ 含量高于其他处理, 表明秸秆还田措施对各土层交换性 Mg²⁺ 含量有较大的影响, 随着土壤深度的增加, 影响程度不同, 各处理土壤交换性 Mg²⁺ 含量也存在差异。

2.5 秸秆还田对水分利用效率及棉花产量的影响

秸秆还田对棉花水分利用效率及产量的影响如图 7 所示。由图 7 可知, 水分利用效率与作物产量呈正相关关系。各处理较 CK 显著提高水分利用效率和产量, 其中, P1、P2、P3 处理之间差异不显著。P13 处理相比 P1、P3 处理水分利用率增加了 22.22%、22.28%, 且产量达到 6.36 t/hm², 增产效果优于 P1、P3 处理, 提高 22.06%~22.75%, P12 处理水分利用效果及产量也同样高于 P1、P2 处理。由此可见, 秸秆还田措施影响当季作物的水分利用效率和棉花产量。

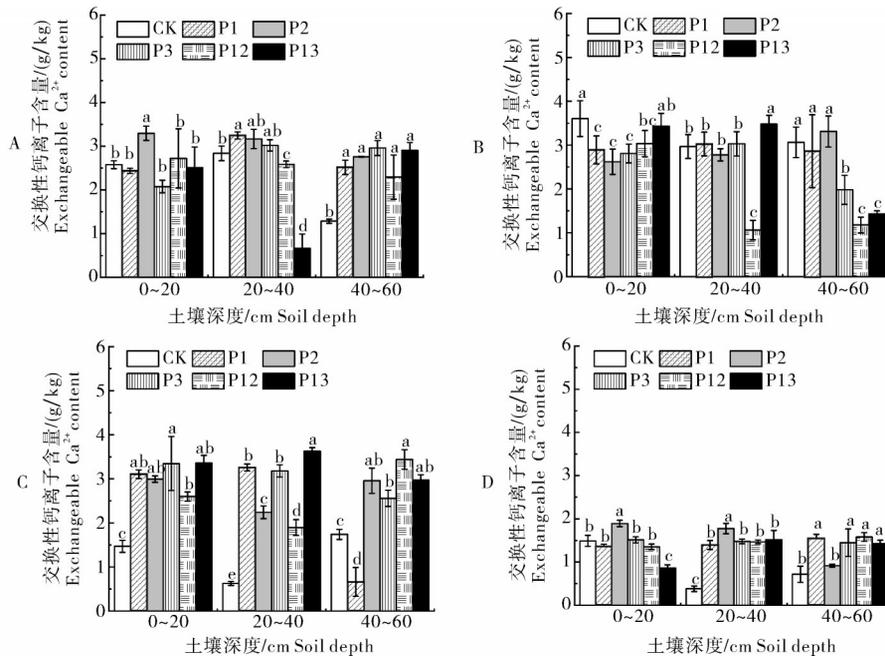


图5 棉花不同生育期土壤交换性钙离子的剖面分布

Fig. 5 Profile distribution of exchangeable Ca^{2+} in soil of cotton at different growth stages

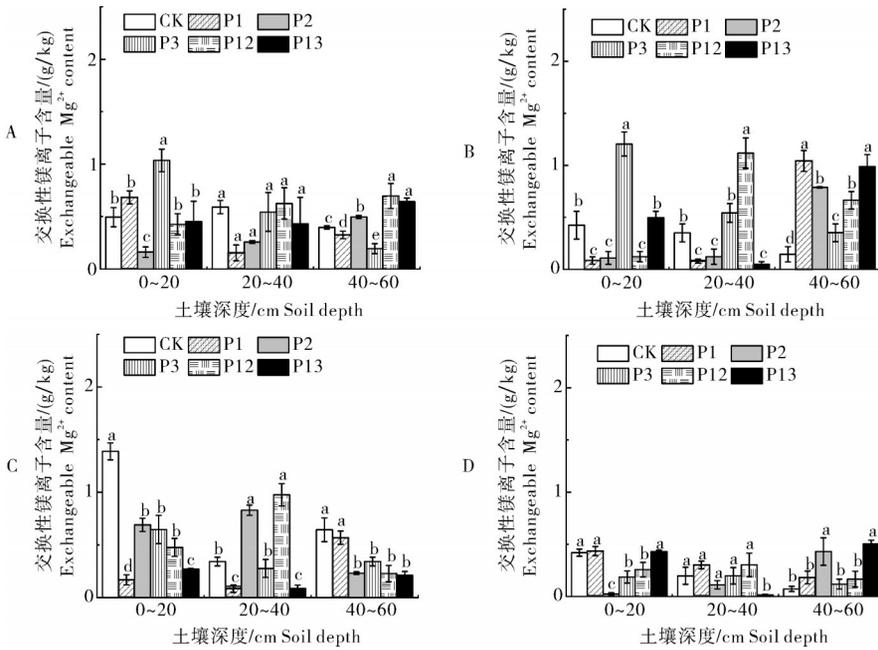


图6 棉花不同生育期土壤交换性镁离子的剖面分布

Fig. 6 Profile distribution of exchangeable Mg^{2+} in soil of cotton at different growth stages

2.6 土壤水盐相关因子与作物产量的关系

表3为土壤水盐相关因子和作物产量的相关性分析结果。由表3可以看出,棉花产量的高低与土壤水盐相关因子有直接的关系。产量与水分利用效率呈极显著正相关,相关系数为0.997。而水分利用效率与土壤含水量呈显著正相关,与电导率呈显著负相关。除此之外,含水量与电导率相关系数为-0.953,呈显著负相关。综上,当土壤水盐环境得

到改善,可以增强其水分利用效率,从而实现增产,并促进农业耕地的可持续发展。

3 讨论

3.1 秸秆还田对土壤水盐分布的影响

多种秸秆共同还田可以有效提高棉花生育期内土壤的保水能力。研究发现,当配施其他作物秸秆(P13、P12处理)时提高了棉花全生育期内土壤含水

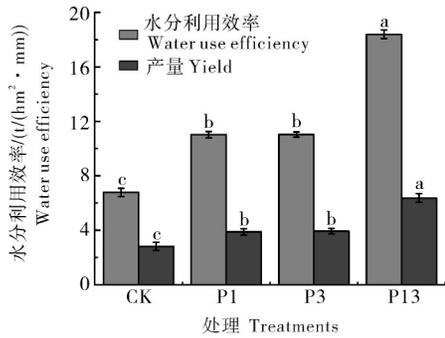


图7 各处理下水分利用效率和产量的变化
Fig.7 Changes of water use efficiency and yield under each treatment

表3 水盐相关因子和产量的相关性分析
Table 3 Correlation analysis between water-related factors and yield

项目 Item	产量 Yield	水分利用效率 Water use efficiency	含水量 Water content	电导率 Conductivity
产量 Yield	1			
水分利用效率 Water use efficiency	0.99**	1		
含水量 Water content	0.96*	0.96*	1	
电导率 Conductivity	-0.93	-0.96*	-0.95*	1

注：**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关;*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。Note: ** indicates significantly correlated at 0.01 level (both sides); * indicates there was a significant correlation at the 0.05 level (both sides).

量。秸秆具有高吸水能力,可以为土壤保留更多的水分,但因秸秆不同,吸水能力不同,因此,P12、P13 处理相比其他处理,0~20 cm 土层中水分停留的时间较长^[12],减慢水分向下的运移速率,盐分进一步溶解,随着灌溉水向下移动。随着秸秆分解程度增加,秸秆作为外源有机碳源,在棉花生育期后期,秸秆分解开始释放 C、N,土壤有机碳含量增加,有机胶结物质增多,形成大团聚体,增加土壤孔隙。孔隙的形成有助于降低土壤紧实度,疏松土壤,有利于土壤水分渗透,增强土壤的排水能力,对水分有正向作用^[13]。土壤盐分随水移动,秸秆还田能够有效减少深层盐分随蒸发上移,而无秸秆翻压的土壤,蒸发时水分通过毛细流动路径到达土壤表层,而秸秆的掺入使水分到达蒸发平面之前还要通过秸秆层,秸秆一方面减少了土壤毛细管路径的连通性,阻滞了水分上移,使蒸发减弱,盐分传输受到限制,停留在 20~40、40~60 cm 土层^[14]。另一方面,当土壤局部溶液浓度超过其溶解度时,会在土壤中形成盐沉淀,并且介质的不均匀性加速了盐沉淀的优先扩散,由于盐沉淀的形

成,对 40~60 cm 土层及更深层土壤中的水分上移有抑制作用,在一定程度上减缓了地下水的蒸发速率^[15]。

不同种类秸秆共同还田对土壤的降盐保水效果优于单种秸秆还田。朱文玲等^[6]研究发现,不同质量的植物残体以混合物形式进行分解时,由于两者之间的养分不同及物质转移,分解率表现出明显的加和效应;另外,植物残体混合改变了土壤环境,更有利于土壤微生物活动。在 2 种条件共同影响下,不同种类的秸秆共同还田下秸秆分解率相较单种秸秆还田有明显不同。吕丽霞等^[16]研究表明,作物残体之间的化学组分对秸秆分解速率有决定性的影响,由于不同配比处理的秸秆腐解率不同,养分释放结果也不一样。

3.2 棉花产量和水分效率的协同提高

水分效率低是一个普遍的全球性农业问题,尤其是干旱地区。研究水盐运移问题的最终目的是为作物根系提供较好的生长环境、提高用水效率、促进作物增产。本研究发现,多种秸秆共同还田下作物的水分利用效率有提高。这与前人的研究结果一致^[17],当表层土壤蒸发下降时,土壤渗透阻力会提高,在作物需水时期适当增加保水能力,可以使作物产量增加。当土壤水分含量较低时,土壤深层盐分随蒸发上移,使作物根系溶液的渗透势增高,同时,由于作物处于缺水的环境,根系受到盐胁迫^[18],会影响作物合成与水分相关的渗透调节物质,减少了水分向作物体内的运输,作物只能更多地吸收水分,导致作物产量降低^[19]。P12、P13 处理相比其他处理更有利于降低土壤表层盐分含量,使水分利用效率增加,当作物根部附近可用水量增加时,产量明显提高。新疆干旱地区棉花种植过程中,籽棉产量与灌水量呈线性相关,产量与水分关系接近二阶多项式方程,土壤水分条件影响棉花种植,影响因子为 0.65^[20],当水分利用率提高时,棉花增产 14.60%~38.69%。因此,改善土壤水盐环境,是增加作物产量的关键。

综上,在本研究中,与不还田相比,秸秆还田有利于改善作物根系水盐环境,增加棉花生育期内土壤含水量,有效抑制深层土壤盐分迁移到土壤表层,提高 0~20 cm 土层脱盐率。在不同秸秆组合(P12、P13 处理)还田条件下,土壤脱盐效果和保水能力高于其他处理,为棉花根系生长提供了低盐的土壤环境,有利于提高作物的水分利用效率,促进棉花增产。

参考文献References

- [1] 杨志新,郑旭,陈来宝,等.干旱区盐碱地食叶草根系形态分布适应策略研究[J].草业学报,2022,31(7):15-27.YANG Z X,ZHENG X,CHEN L B, et al.Study on adaptation strategy of root morphology distribution of leaf-eating grass in arid saline-alkali land [J]. Journal of pratacultural science, 2002, 31 (7):15-27 (in Chinese with English abstract).
- [2] 陈昱,才硕,姚文武,等.作物秸秆还田资源化利用现状及生态效应研究进展[J].北方园艺,2023(2):121-127.CHEN Y, CAI S, YAO W W, et al.Current situation and ecological effect of crop straw returning [J]. Northern horticulture, 2023 (2): 121-127(in Chinese with English abstract).
- [3] 凌一波,薛颖昊,王家平,等.近20年来新疆农作物秸秆资源量变化、现状分析及综合利用探讨[J].中国农业资源与区划,2023,44(1):130-139.LING Y B,XUE Y H,WANG J P, et al.Discussion on the change, current situation and comprehensive utilization of crop straw resources in Xinjiang in recent 20 years [J]. Chinese journal of agricultural resources and regional planning, 2023, 44 (1): 130-139 (in Chinese with English abstract).
- [4] 杨东,李新举,孔欣欣.不同秸秆还田方式对滨海盐渍土盐运动的影响[J].水土保持研究,2017,24(6):74-78.YANG D, LI X J, KONG X X. Effects of different straw returning modes on the water and salt movement in the coastal saline soil [J]. Research of soil and water conservation, 2017, 24 (6): 74-78 (in Chinese with English abstract).
- [5] 赵惠丽,董金璠,师江澜,等.秸秆还田模式对小麦-玉米轮作体系土壤有机碳固存的影响[J].土壤学报,2021,58(1):213-224.ZHAO H L, DONG J J, SHI J L, et al. Effect of straw returning mode on soil organic carbon sequestration [J]. Acta pedologica sinica, 2021, 58 (1): 213-224 (in Chinese with English abstract).
- [6] 朱文玲,李秀双,田霄鸿,等.小麦与秋豆秸秆配施对土壤有机碳固持的影响[J].农业环境科学学报,2018,37(9):1952-1960.ZHU W L, LI X S, TIAN X H, et al. Effects of the combined amendment of wheat and huai bean straws on soil organic carbon sequestration [J]. Journal of agro-environment science, 2018, 37 (9): 1952-1960 (in Chinese with English abstract).
- [7] 饶继翔,陈昊,吴兴国,等.不同秸秆还田方式对土壤线虫群落特征的影响[J].农业环境科学学报,2020,39(10):2473-2480.RAO J X, CHEN H, WU X G, et al. Effects of different straw returning methods on soil nematode community characteristics [J]. Journal of agro-environment science, 2020, 39 (10): 2473-2480 (in Chinese with English abstract).
- [8] 杨小虎,罗艳琴,杨海昌,等.玛纳斯河流域绿洲农田土壤盐分反演及空间分布特征[J].干旱区资源与环境,2021,35(2):156-161.YANG X H, LUO Y Q, YANG H C, et al. Soil salinity retrieval and spatial distribution of oasis farmland in Manasi River Basin [J]. Journal of arid land resources and environment, 2021, 35 (2): 156-161 (in Chinese with English abstract).
- [9] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.BAO S D. Soil and agricultural chemistry analysis [M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000 (in Chinese).
- [10] WANG F, XIAO J F, MING B, et al. Grain yields and evapotranspiration dynamics of drip-irrigated maize under high plant density across arid to semi-humid climates [J/OL]. Agricultural water management, 2021, 247: 106726 [2022-11-08]. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106726>.
- [11] 张秀,朱文美,董述鑫,等.灌水量与密度互作对冬小麦籽粒产量和水分利用效率的影响[J].应用生态学报,2021,32(1):163-174.ZHANG X, ZHU W M, DONG S X, et al. Interactive effects of irrigation regime and planting density on grain yield and water use efficiency in winter wheat [J]. Chinese journal of applied ecology, 2021, 32 (1): 163-174 (in Chinese with English abstract).
- [12] LI Y, CHEN H, FENG H, et al. Influence of straw incorporation on soil water utilization and summer maize productivity: a five-year field study on the Loess Plateau of China [J/OL]. Agricultural water management, 2020, 233: 106106 [2022-11-08]. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106106>.
- [13] ZHU W, YANG J S, YAO R J, et al. Buried layers change soil water flow and solute transport from the Yellow River Delta, China [J]. Journal of soils and sediments, 2021, 21 (4): 1598-1608.
- [14] LIU N, LI Y Y, CONG P, et al. Depth of straw incorporation significantly alters crop yield, soil organic carbon and total nitrogen in the North China Plain [J/OL]. Soil and tillage research, 2021, 205: 104772 [2022-11-08]. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104772>.
- [15] BERGSTAD M, OR D, WITHERS P J, et al. Retracted: evaporation dynamics and NaCl precipitation on capillarity-coupled heterogeneous porous surfaces [J]. Water resources research, 2018, 54 (6): 3876-3885.
- [16] 吕丽霞,廖超英,张立新,等.渭北果园白三叶与黑麦草不同配比的腐解及养分释放规律[J].西北农业学报,2013,22(5):162-169.LÜ L X, LIAO C Y, ZHANG L X, et al. Release of nutrients during the decomposition of white clover and ryegrass combination with different ratios of them as the green manure in apple orchard in Weibei Highland [J]. Acta agriculturae boreali-occidentalis sinica, 2013, 22 (5): 162-169 (in Chinese with English abstract).
- [17] 魏欢欢,王仕稳,杨文稼,等.免耕及深松耕对黄土高原地区春玉米和冬小麦产量及水分利用效率影响的整合分析[J].中国农业科学,2017,50(3):461-477.WEI H H, WANG S W, YANG W J, et al. Meta analysis on impact of no-tillage and subsoiling tillage on spring maize and winter wheat yield and water use efficiency on the Loess Plateau [J]. Scientia agriculturae sinica, 2017, 50 (3): 461-477 (in Chinese with English abstract).

- [18] CHEN W L, JIN M G, FERRÉ T P A, et al. Spatial distribution of soil moisture, soil salinity, and root density beneath a cotton field under mulched drip irrigation with brackish and fresh water[J]. *Field crops research*, 2018, 215: 207-221.
- [19] 胡敏, 苗庆丰, 史海滨, 等. 不同地膜覆盖对春玉米生长发育及水分利用效率的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 2017, 31(2): 173-177. HU M, MIAO Q F, SHI H B, et al. Effects of different film mulching on growth traits and water use efficiency for spring maize[J]. *Journal of arid land resources and environment*, 2017, 31(2): 173-177 (in Chinese with English abstract).
- [20] IYANG C J, LUO Y, SUN L, et al. Effect of deficit irrigation on the growth, water use characteristics and yield of cotton in arid northwest China[J]. *Pedosphere*, 2015, 25(6): 910-924.

Effects of returning straw to field on distribution of water and salt in soil and yield throughout whole growth period of cotton

ZHANG Manyu, YANG Haichang, ZHANG Fenghua, YU Shanchao, SUN Jing, CAO Zheng

College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi 832003, China

Abstract Field plot experiments were conducted with six treatments including no returning to the field (CK), returning cotton straw to field (P1), returning maize straw to field (P2), returning rapeseed straw to field (P3), returning cotton straw+maize straw to field (P12); returning cotton straw + rapeseed straw to field (P13) to study the effects of returning straw to field on reducing salt and retaining water in saline-alkali soil of Xinjiang. The effect of each treatment on the content of water, electrical conductivity, desalination rate, base ions, water use efficiency, and yield of the 0-60 cm soil layer during the whole growth period of cotton was measured. The results showed that treatment P12 and P13 enhanced the water storage capacity in soil compared to other treatments. The difference of the content of water decreased gradually with the increase of soil depth. Compared with CK treatment, the content of water in soil of treatment P12 and P13 increased by 3.78%-15.03% and 5.06%-18.23%, respectively. During the whole growth period of cotton, treatment P12 and P13 increased the desalting rate of 0-20 cm soil layer. Compared with CK treatment, the conductivity of treatment P12 and P13 decreased by 3.54%-39.27% and 17.83%-40.01%, respectively. The content of base ions in soil exhibited a pattern of $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$. The content of Na^+ , K^+ , Mg^{2+} in the base ions had the property of surface aggregation. The results of correlation analysis showed that the regulation of soil water and salt environment including the content of water, electrical conductivity, desalination rate in cotton fields increased the water use efficiency and the yield of crop. It is indicated that treatment P12 and P13 can significantly enhance water holding capacity in soil and improve salt distribution in soil during the whole growth period of cotton compared to other treatments. It will provide reference for the improvement of saline-alkali soil in Xinjiang region.

Keywords improvement of saline-alkali soil; returning straw to field; distribution of water and salt; water use efficiency; yield; cotton

(责任编辑:赵琳琳)