

塔里木河上游棉区土壤盐分与速效养分的空间分布及相关关系

刘昭雪^{1,2,3},高志建⁴,白新禄^{1,2,3},
张宝月^{1,2,3},杨莉莉^{1,2,3},支金虎^{1,2,3}

(1.塔里木大学农学院,新疆阿拉尔 843300; 2.南疆干旱区特色作物遗传改良与高效生产兵团重点实验室,新疆阿拉尔 843300;
3.南疆绿洲农业资源与环境研究中心,新疆阿拉尔 843300; 4.新疆农垦科学院农田水利与水土保持研究所,新疆石河子 832000)

摘要:土壤盐渍化已成为制约塔里木河上游棉田生产的主要障碍因子。为查明塔里木河上游棉田土壤盐分现状以及盐分与土壤速效养分之间的关系,建立盐渍化土壤合理施肥理论标准,提高盐渍化土壤棉花生产能力,采用克里金插值、相关性分析等方法对研究区棉田土壤盐分与速效养分的累积量、分布规律及其相关关系进行研究。结果表明:塔里木河上游棉区棉田0~200 cm 土层土壤全盐、硝态氮、速效磷、速效钾含量分别为 1.17~2.44 g·kg⁻¹、18.9~65.1 mg·kg⁻¹、1.3~31.2 mg·kg⁻¹、64.9~107.9 mg·kg⁻¹。其中,盐分离子主要以 Ca²⁺、Na⁺和 SO₄²⁻为主,0~40 cm 土壤硝态氮、速效钾含量与全盐含量呈显著正相关关系,且0~40 cm 土壤硝态氮、速效钾含量与全盐含量空间分布较为一致,说明施肥可以影响塔里木河上游棉田土壤盐分含量。因此,建议在生产过程中应合理施肥,以避免加重土壤盐渍化问题。

关键词:盐分离子;硝态氮;速效钾;速效磷;空间分布

中图分类号:S287 **文献标志码:**A

Spatial distribution and correlation of soil salinity and available nutrients in cotton area of upper reaches of Tarim River

LIU Zhaoxue^{1,2,3}, GAO Zhijian⁴, BAI Xinlu^{1,2,3},
ZHANG Baoyue^{1,2,3}, YANG Lili^{1,2,3}, ZHI Jinhu^{1,2,3}

(1. College of Agriculture, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China; 2. Key Laboratory of Genetic Improvement and Efficient Production of Characteristic Crops in Arid Areas of Southern Xinjiang, Alar, Xinjiang 843300, China;
3. Southern Xinjiang Oasis Agricultural Resources and Environment Research Center, Alar, Xinjiang 843300, China;
4. Institute of Water Conservancy and Soil and Water Conservation, Xinjiang Academy of Agricultural Reclamation Sciences, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

Abstract: Soil salt has become an important obstacle factor restricting the upstream cotton field production of the Tarim River. To find out the status quo of the salt in the soil in the upper reaches of the upstream of the Tarim River, the relationship between salt and soil available nutrients and the theoretical standard for salted soil fertilization were established. The production capacity of salt-stained soil cotton was used. Methods studied the accumulation, distribution rules and related relationships of cumulative nutrients in the research area and available nutrients. The results showed that the contents of soil salinity, nitrate nitrogen, and available phosphorus and available potassium in the cotton field of the upper reaches of Tarim River were 1.17~2.44 g·kg⁻¹, 18.9~65.1 mg·kg⁻¹, 1.3~31.2 mg·kg⁻¹ and 64.9~107.9 mg·kg⁻¹, respectively. Among them, the salt separators were mainly Ca²⁺, Na⁺ and SO₄²⁻, and the nitrate nitrogen and available potassium contents of 0~40 cm soil were positively correlated with the total salt content, and the spatial distribution of nitrate nitrogen and available potassium content in 0~40 cm

soil was relatively consistent, indicating that fertilization could affect the soil salt content in the upper reaches of the Tarim River. Therefore, it is recommended that fertilization should be applied reasonably during the production process to avoid aggravating the problem of soil salinization.

Keywords: salt ion; nitrate nitrogen; available potassium; available phosphorus; spatial distribution

土壤盐渍化是当今世界上土地荒漠化和土地退化的主要类型之一,也是世界性资源问题和生态问题^[1]。当前,全球超过 7.7%~11.5% 的灌溉土地受盐渍化威胁,可溶性盐分的过量累积严重威胁作物生产和可持续发展^[2]。据估计,到 2050 年世界上 50% 的可耕地将受到土壤盐渍化的影响^[3]。我国发生盐渍化的地区分布广泛,其中新疆地区的盐渍土类型最多,盐渍土总面积达 847.6 万 hm^2 ,占新疆地区现有耕地面积的 31.1%^[4]。新疆地区土壤水分蒸发量高、地势平坦、土地排水不良、水资源短缺、矿化度高等因素相互作用,导致土壤盐渍化、荒漠化和土地退化等一系列问题;尤其是新疆南疆盐碱地占灌溉区耕地的 49.6%,严重影响了该地区的粮食和经济安全^[5]。

盐碱地有机质和养分含量低、供肥能力不足、盐分过多等容易造成作物生理干旱,影响养分的吸收利用,进而导致作物减产、品质下降甚至不育^[6-8]。土壤中的盐分和养分是影响土壤质量的重要指标,两者关系紧密,研究土壤盐离子和速效养分之间的相关性对盐渍化土壤治理具有重要意义。近年来,学者在水盐运移^[9-11]、高光谱遥感获取土壤盐分信息^[12-15]、土壤 EC 值^[16-17]等方面已开展较多研究,例如,窦旭等^[18]研究发现,内蒙古河套灌区下游乌拉特灌域 0~40 cm 土层全盐与速效钾、速效磷含量呈负相关;查向浩等^[19]研究发现,南疆绿洲荒漠过渡带土壤全盐含量与土壤有效磷、速效钾含量呈显著正相关关系。可见,关于土壤盐分与养分之间关系的研究结果存在分歧,有必要开展进一步研究;另外,已有研究多集中在表层土壤,对深层

土壤开展盐分与养分平衡的研究尚不多见。

因此,本研究聚焦盐渍化问题较为典型的塔里木河上游棉区,通过面上采样,采集 76 块棉田土壤样品,探究 0~200 cm 土层土壤全盐含量、盐分构成,以及与硝态氮、速效磷、速效钾之间的相关性,旨在为塔里木河上游棉田土壤盐渍化治理提供理论依据,具有重要的理论与实践意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区为新疆维吾尔自治区塔里木河上游(80°45'~81°55'E,40°15'~40°45'N),位于天山南麓、塔克拉玛干大沙漠北缘,阿克苏河与叶尔羌河、和田河交汇处,地势开阔,地形平缓,属于塔里木河冲积平原,主要土壤类型为棕漠土,总面积约为 3 925.1 km^2 (图 1)。该区域属于暖温带极端大陆性干旱荒漠气候,年均降水量 40.1~82.5 mm,年均蒸发量 1 876.6~2 558.9 mm,年均日照时数 2 556.3~2 991.8 h,年均气温 10.7℃,无霜期 220 d。研究区主要种植棉花、红枣和香梨,农业灌水方式以春冬漫灌洗盐结合膜下滴灌为主。

1.2 土壤样品采集与测定

在研究区选取 76 个具有代表性的典型样地,采样点见图 1。采集 0~200 cm 土层土壤样品,每 20 cm 为一土层。每个采样点采集 10 个土壤样品,混合成 1 个混合样品,带回实验室。土壤样品经自然风干后,去除土样中植物根系和石块,充分混匀,过 1 mm 筛。采用蒸馏水进行浸提(土水比为 1:5)并过

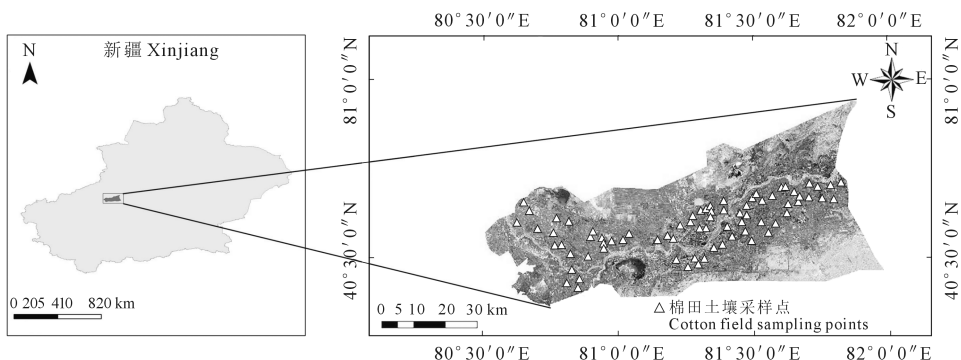


图 1 研究区概况及采样点分布

Fig.1 Overview of the study area and distribution of sampling points

滤,然后测定 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 含量。其中, K^+ 、 Na^+ 采用火焰光度计法测定, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 采用 EDTA 滴定法测定, Cl^- 采用硝酸银滴定法测定, HCO_3^- 采用双指示剂-中和滴定法测定;采用离子加和法计算土壤全盐量^[20]。土壤速效磷采用 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ 浸提,钼锑抗比色法测定。土壤速效钾采用 NH_4OAc 浸提,火焰光度法测定。土壤硝态氮采用紫外分光光度法测定。

1.3 数据处理与分析

1.3.1 数据处理 采用 Microsoft Excel 2019 软件对试验数据进行整理,采用 SPSS 2021 软件对数据进行描述性统计分析,采用 Origin 2018 软件对数据进行相关性分析及作图。

1.3.2 空间分布图 采用 ArcGIS10.1 软件进行克里金插值,根据土壤盐渍化等级划分标准^[20] 和土壤养分分级标准^[21] 分别绘制土壤 0~60 cm 土层的盐分、速效钾、速效磷硝态氮含量空间分布图,并且对未采

样的区域进行插值估计,得到最优无偏估计值。

2 结果与分析

2.1 棉田土壤剖面盐分含量及离子占比

表 1 显示,塔里木河上游棉区 0~200 cm 土层土壤盐分含量在 $1.17 \sim 2.44 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间。随着土层的加深,土壤中的盐分含量呈现下降趋势,在 180~200 cm 土层,全盐含量略有上升,为 $1.23 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。土壤中不同离子含量表现为 $Ca^{2+} > Na^+ > SO_4^{2-} > Mg^{2+} > K^+ > Cl^- > HCO_3^-$,其中 Ca^{2+} 含量最多,其含量为 $0.33 \sim 1.07 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其次是 Na^+ 和 SO_4^{2-} , Cl^- 和 HCO_3^- 含量最少。盐分离子占比结果显示, Ca^{2+} 、 Na^+ 和 SO_4^{2-} 占比较高,分别为 $28.38\% \sim 48.75\%$ 、 $24.56\% \sim 37.17\%$ 和 $9.05\% \sim 14.45\%$ 。随着土层的加深, Ca^{2+} 占比逐渐下降,由 0~20 cm 土层 43.83% 下降到 180~200 cm 土层 30.28%。但 K^+ 、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 随着土层的加深逐渐增加(表 2)。

表 1 塔里木河上游棉区土壤盐分含量 ($N=76$) / ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 1 Soil salinity content in cotton area of the upper reaches of Tarim River ($N=76$)

土层/cm Soil layer	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	全盐量 Total salinity
0~20	0.13±0.10	0.70±0.50	1.07±1.16	0.20±0.20	0.22±0.12	0.07±0.05	0.05±0.01	2.44±1.66
20~40	0.12±0.08	0.62±0.44	0.99±1.19	0.15±0.12	0.22±0.12	0.06±0.03	0.05±0.01	2.21±1.64
40~60	0.09±0.06	0.46±0.35	0.92±1.21	0.12±0.10	0.20±0.11	0.05±0.02	0.04±0.01	1.88±1.52
60~80	0.08±0.06	0.44±0.34	0.72±1.06	0.09±0.08	0.19±0.11	0.04±0.02	0.04±0.02	1.61±1.37
80~100	0.08±0.06	0.52±0.50	0.60±0.94	0.10±0.10	0.18±0.10	0.05±0.02	0.04±0.02	1.58±1.25
100~120	0.08±0.05	0.44±0.31	0.46±0.68	0.08±0.07	0.18±0.11	0.05±0.03	0.04±0.01	1.34±0.94
120~140	0.08±0.07	0.44±0.32	0.33±0.43	0.08±0.06	0.16±0.08	0.05±0.03	0.04±0.01	1.17±0.69
140~160	0.08±0.08	0.43±0.34	0.33±0.47	0.09±0.08	0.16±0.07	0.05±0.03	0.04±0.01	1.17±0.76
160~180	0.08±0.08	0.41±0.33	0.36±0.59	0.09±0.07	0.17±0.09	0.05±0.03	0.04±0.01	1.19±0.86
180~200	0.08±0.08	0.44±0.35	0.37±0.59	0.09±0.07	0.16±0.08	0.05±0.03	0.04±0.01	1.23±0.86

注: N 为样本数,下同。

Note: N is the number of samples, the same below.

表 2 塔里木河上游棉区土壤盐分离子占比 ($N=76$) / %

Table 2 Proportion of soil saltions in cotton area of the upper reaches of Tarim River ($N=76$)

土层/cm Soil layer	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-
0~20	5.37	28.80	43.83	8.01	9.05	3.06	1.88
20~40	5.20	28.18	44.91	6.96	10.15	2.54	2.05
40~60	4.65	24.56	48.75	6.62	10.82	2.41	2.19
60~80	5.15	27.29	44.91	5.82	11.47	2.68	2.69
80~100	5.15	32.91	38.07	6.56	11.59	3.01	2.70
100~120	5.82	33.06	34.52	6.30	13.69	3.37	3.24
120~140	6.48	37.17	28.41	6.70	13.72	3.91	3.61
140~160	6.45	36.33	28.38	7.58	13.68	3.91	3.68
160~180	6.38	34.15	29.90	7.46	14.45	4.15	3.49
180~200	6.34	35.92	30.28	6.99	13.09	4.07	3.32

根据塔里木河上游棉区土壤盐分离子成分含量情况可知; Ca^{2+} 、 Na^+ 和 SO_4^{2-} 是形成该区域盐渍化土壤最主要的组成元素;同时,根据新疆土壤盐渍化分类和分级标准^[22] 可知, $Cl^-/2SO_4^{2-} < 0.20$,该区盐分组成是以钙型硫酸盐为主,属于硫酸盐类型(见表 3)。

2.2 棉田土壤剖面硝态氮、速效磷和速效钾含量分布

塔里木河上游棉田 0~200 cm 土层土壤剖面硝态氮含量为 $18.9 \sim 65.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。随土层加深,硝态氮含量迅速下降,由 0~20 cm 土壤 $65.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 降低至 60~80 cm 土壤 $24.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,80~200 cm 土层土壤硝态氮含量基本保持稳定。0~200 cm 土层土壤剖面速效磷含量为 $1.3 \sim 31.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,60 cm 之下土壤速效磷含量较低,仅为 $1.3 \sim 3.7 \text{ mg} \cdot$

kg^{-1} 。0~200 cm 土层土壤剖面速效钾含量相对较高,为 64.9~107.9 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,60 cm 之下土壤速效钾含量基本保持稳定(图 2)。

表 3 研究区土壤盐分离子含量描述统计

Table 3 Description and statistics of salt ion content in the study area

指标 Index	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-
样本数 Sampling size	760	760	760	760	760	760	760
平均值 Mean/ $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	0.09	0.49	0.62	0.11	0.19	0.05	0.04
中位数 Median/ $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	0.07	0.36	0.26	0.07	0.16	0.04	0.04
标准差 Standard deviation $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	0.07	0.39	0.92	0.11	0.10	0.03	0.01
方差 Variance $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	0.01	0.15	0.85	0.01	0.01	0.00	0.00
最小值 Minimum $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	0.03	0.06	0.08	0	0	0.01	0.01
最大值 Maximum $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	0.63	3.63	3.91	1.25	0.68	0.29	0.12
变异系数 Variation coefficient/%	85	80	149	98	55	65	32
占比 Proportion/%	6.76	37.58	47.24	8.42	66.53	18.05	15.42

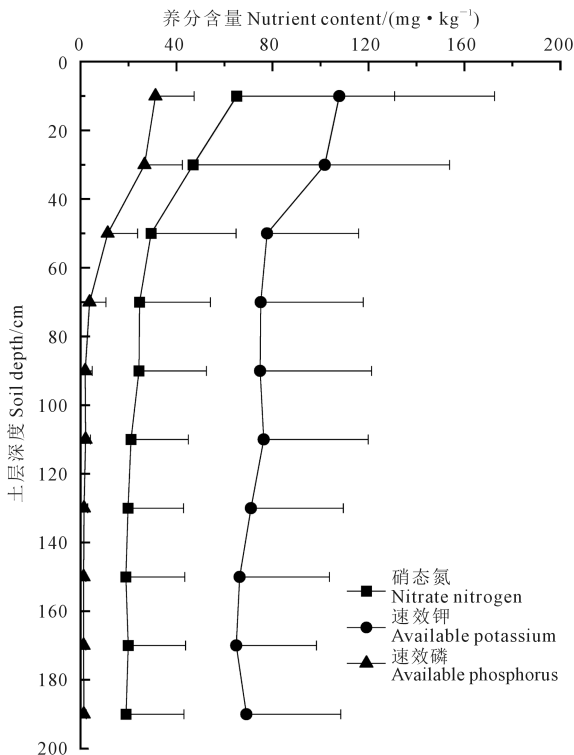


图 2 棉田土壤剖面硝态氮、速效磷和速效钾含量

Fig.2 Content of nitrate nitrogen, available phosphorus and available potassium along soil profile of cotton field

2.3 棉田土壤盐分、硝态氮、速效钾和速效磷空间分布

塔里木河上游棉田 0~20 cm 土层土壤总盐分含量主要集中在 1.0~5.0 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,呈斑块状分布,且呈现西高东低的分布规律(图 3a);20~40 cm 土层,棉田盐分含量也呈现出西高东低的分布规律,但在东部研究区有少量棉区土壤未盐化,其含盐量在 1.0 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下(图 3b);40~60 cm 土层,西部有少部分棉区土壤盐分含量在 3.0~5.0 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,其余棉田土壤盐分含量在 3.0 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下,盐分含量在 40~60 cm 土层逐渐减少(图 3c)。

0~20 cm 土层,中部和西部棉区的土壤硝态氮含量在 42 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上,东部少量棉区土壤硝态氮在 42 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下(图 4a);20~40 cm 土层,大部分棉区土壤硝态氮含量在 42~58 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间(图 4b);40~60 cm 土层,棉区的土壤硝态氮含量在 42 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下,只有东部有一部分斑状棉区土壤硝态氮含量在 42~58 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间(图 4c)。

0~20 cm 土层,速效磷含量在 20 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上,并且有中部有斑点状棉区土壤速效磷含量在 40 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上(图 5a);20~40 cm 土层,北部棉区有少量棉区土壤速效磷含量在 3 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下,其余棉区速效磷含量在 20 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上呈现片状分布规律(图 5b);40~60 cm 土层,速效磷含量降低到 3 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下,土壤缺乏速效磷(图 5c)。

0~20 cm 土层,棉田土壤速效钾含量主要集中在 50~150 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,呈现出片状分布,中部速效钾含量略微偏低,其含量在 50~100 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间(图 6a);20~40 cm 土层,棉田速效钾含量也在 50~150 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间(图 6b);40~60 cm 土层,速效钾含量相对于 0~20 cm 和 20~40 cm 土层,速效钾含量降低,主要集中在 30~100 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,并且中部片区速效钾含量在 <30 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 6c)。

2.4 棉田土壤盐分与硝态氮、速效磷和速效钾的相关性

0~20 cm 和 20~40 cm 土层,土壤硝态氮含量与土壤全盐含量呈显著正相关关系($P < 0.01$),其 R^2 分别为 0.306 和 0.171(图 7);0~60 cm 土层,土壤速效磷含量与土壤全盐含量无显著相关关系($P > 0.05$)(图 8);0~20、20~40、40~60 cm 土层土壤速效钾含量与土壤全盐含量呈极显著正相关关系($P < 0.01$),其 R^2 分别为 0.152、0.138、0.080(图 9)。

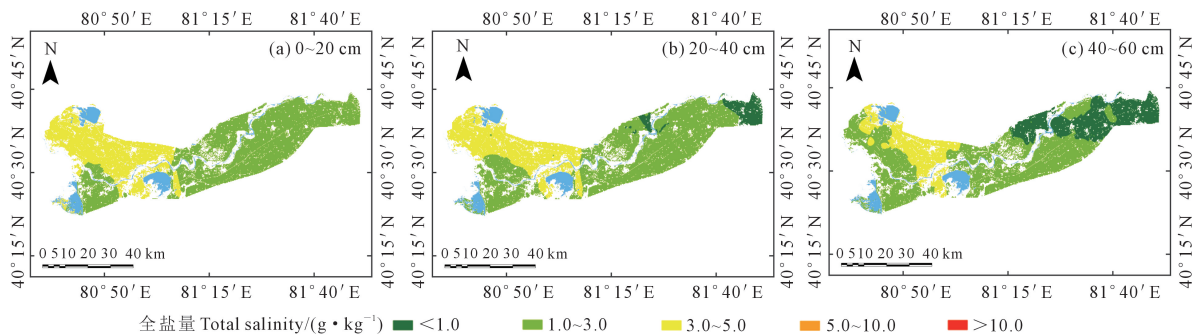


图 3 塔里木河上游棉区 0~20 cm (a)、20~40 cm (b)、40~60 cm (c) 土壤盐分空间分布

Fig.3 Spatial distribution of soil salinity in 0~20 cm (a), 20~40 cm (b), 40~60 cm (c) in the cotton area of the upper reaches of Tarim River

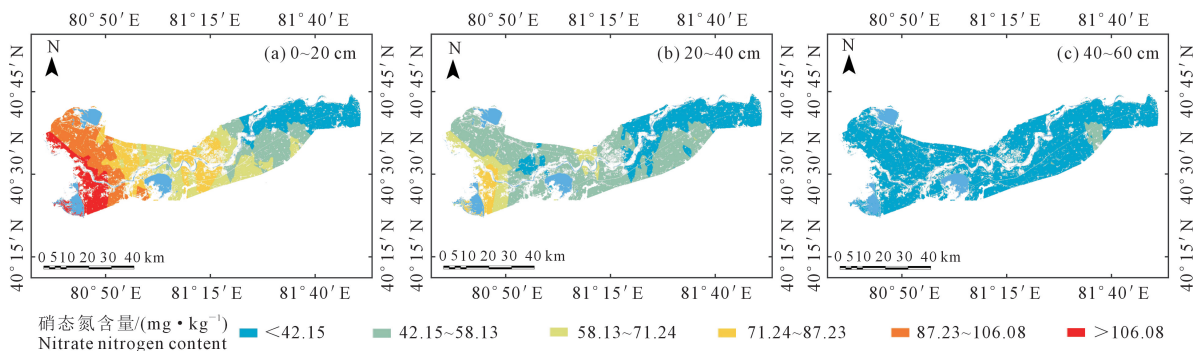


图 4 塔里木河上游棉区 0~20 cm (a)、20~40 cm (b)、40~60 cm (c) 土壤硝态氮含量分布图

Fig.4 Distribution of nitrate nitrogen content in 0~20 cm (a), 20~40 cm (b) and 40~60 cm (c) in the cotton area of the upper reaches of the Tarim River

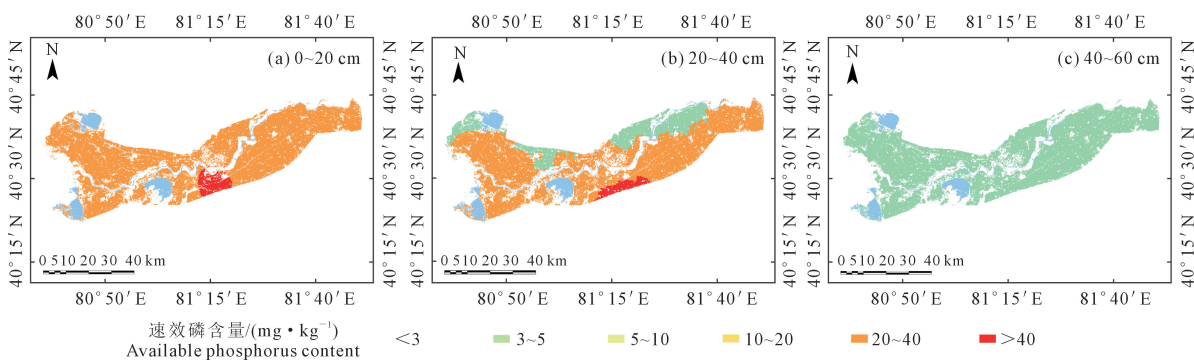


图 5 塔里木河上游棉区 0~20 cm (a)、20~40 cm (b)、40~60 cm (c) 土壤速效磷含量分布图

Fig.5 Distribution of available phosphorus content in 0~20 cm (a), 20~40 cm (b) and 40~60 cm (c) in the cotton area of the upper reaches of the Tarim River

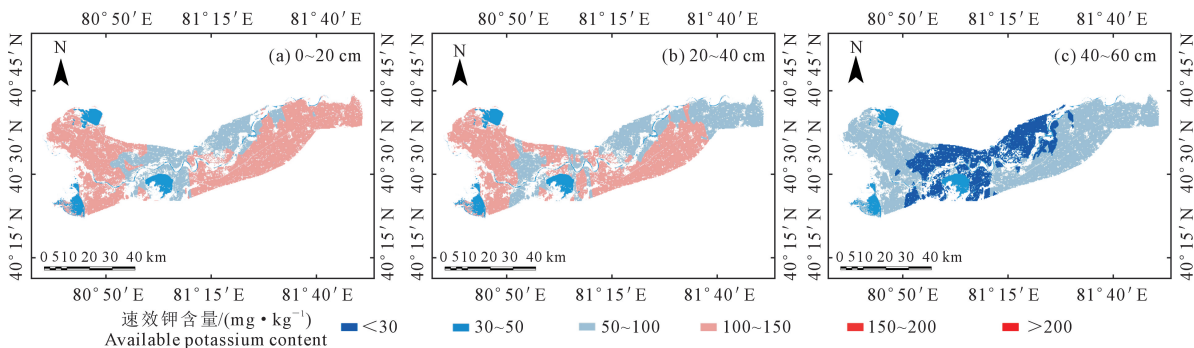


图 6 塔里木河上游棉区 0~20 cm (a)、20~40 cm (b)、40~60 cm (c) 土壤速效钾含量分布图

Fig.6 Distribution of soil available potassium content in 0~20 cm (a), 20~40 cm (b) and 40~60 cm (c) in the cotton area of the upper reaches of Tarim River

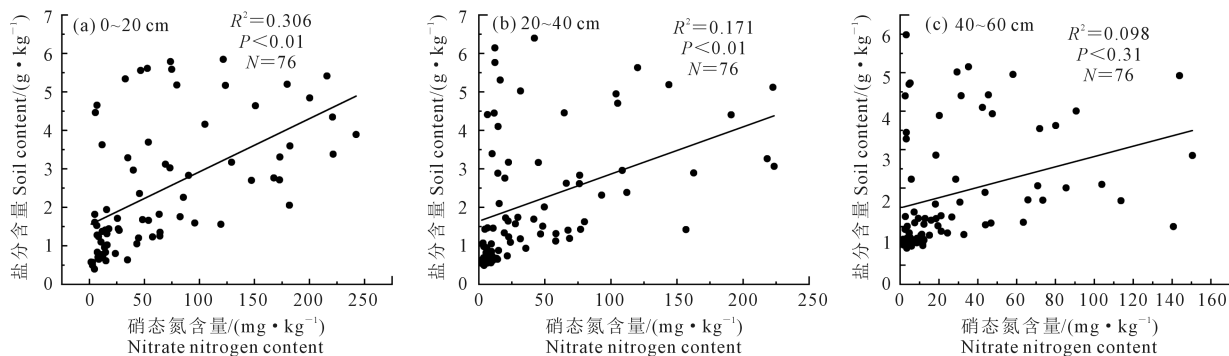


图7 棉田土壤盐分与硝态氮的相关性

Fig.7 Correlation between soil salinity and nitrate nitrogen in cotton field

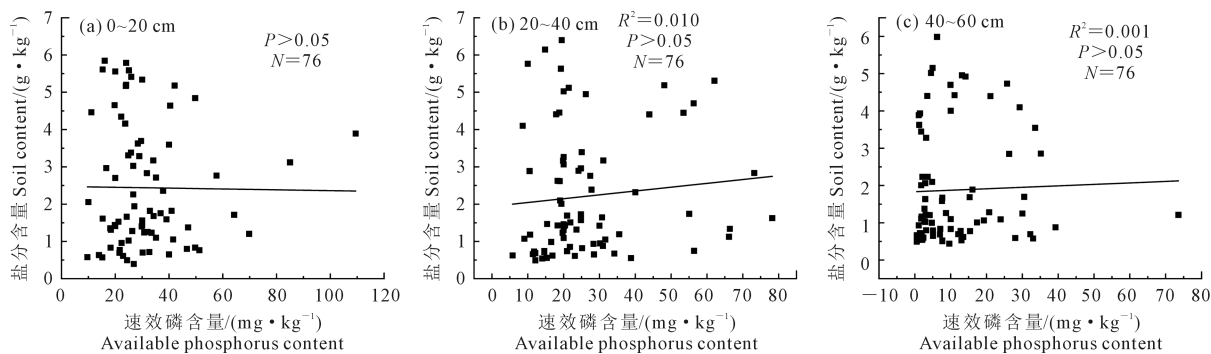


图8 棉田土壤全盐与速效磷的相关性

Fig.8 Correlation between soil salinity and available phosphorus in cotton field

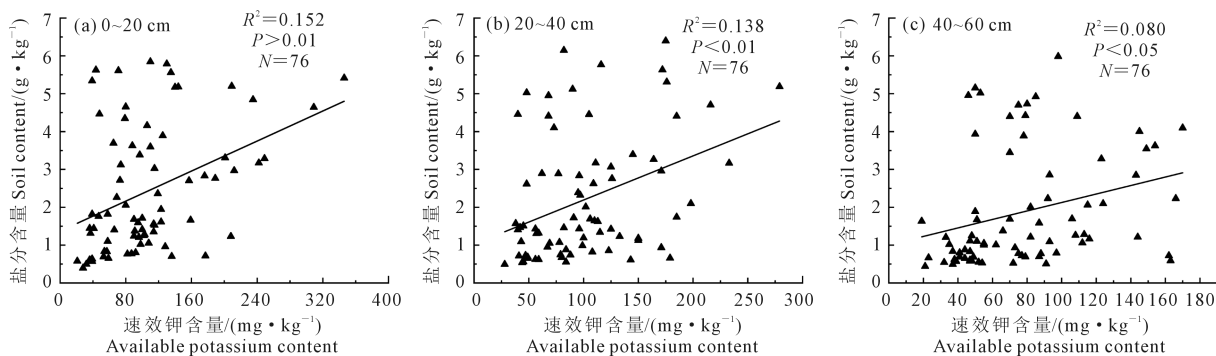


图9 棉田土壤全盐与速效钾的相关性

Fig.9 Correlation between soil salinity and available potassium in cotton field

3 讨论

南疆塔里木河上游棉区作为受土壤盐渍化侵害的典型绿洲农田,严重制约当地棉花产业发展。本研究发现,该区域棉田0~200 cm剖面各土层土壤全盐含量均高于 $1.17 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (表1),属于盐碱土。研究区域属于典型山-盆地地貌结构,山区岩石溶解的可溶性盐及盆地古海相沉积形成的可溶性盐随降水径流、地下水不断流入平原地区,提供了盐分来源^[23-24]。同时,近年来南疆塔里木河上游棉区大力推广节水农业,棉花种植不再采用传统“大

水洗盐”模式,普遍采用“膜下滴灌”的种植模式,增加了盐分累积几率。南疆塔里木河上游棉区土壤盐离子以 Ca^{2+} 、 Na^{+} 和 SO_4^{2-} 为主(表2)。其中, Na^{+} 占全盐量的24.56%~37.17%。土壤中积累的 Na^{+} 会改变土壤结构,进而影响作物生长^[25]。0~200 cm土层土壤 Na^{+} 含量较高也是造成该区域土壤结构不稳定、棉花植株生长不良等问题的主要原因之一。

施肥是引起表层土壤中速效养分含量高的主要原因。施入土壤中的肥料一部分被当季作物吸收利用,过量的养分则残留在土壤中,造成土壤养

分累积。本研究发现,耕层(0~20 cm 土层)硝态氮、速效磷、速效钾均发生累积。与本研究结果相似,尔晨等^[26]研究发现,棉花施氮量超过 300 kg · hm⁻²时,造成土壤剖面硝态氮累积。另外,硝态氮、速效磷(主要为磷酸盐)、速效钾(主要为 K⁺) 在土壤中迁移能力不同,导致其在不同土层累积。硝态氮在土壤中迁移能力较强,即在 0~80 cm 土层产生累积;然而,磷酸盐、K⁺ 在土壤中迁移能力较弱,即在 0~40 cm 和 0~60 cm 土层产生累积。

土壤养分对土壤盐分含量会产生一定的影响,其影响可以是正效应也可以是负效应,导致不同结果的原因可能是各地区的成土母质、土壤离子组成以及盐分离子与养分的分布差异,所以要根据各地区的实际情况研究分析。本研究发现,0~40 cm 土壤硝态氮、速效钾含量与全盐含量呈显著正相关关系(图 7、9)。这说明两者的变化在一定程度上具有显著同步性,这也表明土壤中速效养分含量能影响盐分含量的变化。与本研究结果相似,查向浩等^[19]研究发现,南疆绿洲-荒漠过渡带土壤盐分与速效养分显著相关。同时,土壤盐分与土壤硝态氮、速效钾空间分布的一致性也证明了速效养分与盐分的相关性。速效养分主要是过量施肥导致养分残留累积。可见,施肥能影响塔里木河上游棉田土壤盐分含量。其主要原因:一是施肥带入大量盐分离子,如 Cl⁻、SO₄²⁻ 等;二是作物根系吸水过程中,盐分离子向根区聚集,施肥促进了作物生长,加剧了盐分的“表聚”作用。与本研究结果相似,范庆锋等^[27]发现肥料中带有 Cl⁻ 和 SO₄²⁻ 等强酸性离子,这些离子随肥料的大量施用而进入土壤,它们中仅部分被作物吸收,而大部分则残留于土壤中,成为土壤次生盐渍化的原因之一。因此,塔里木河上游棉田在生产过程中,应合理施肥来避免加重土壤盐渍化问题。

不同地区的气候条件、成土母质以及栽培管理措施的差异导致土壤盐渍化的成因不同,其盐分组成与离子比例呈现区域性特征^[28],且在同一地区土壤中各种离子含量呈现较强的空间变异性^[29]。盐渍化土壤的发生是各种因素综合作用的结果,施肥是影响养分含量高低的主要因素,许多研究显示养分能影响盐分含量。因此,对盐渍化土壤水平和垂直方向的盐分和养分含量进行研究,探究土壤整体盐分与养分之间的相互关系,深度挖掘盐、养离子在土壤中的运移转化规律是有重要意义的;未来可以针对不同地区土壤盐分与养分之间的分布规律以及它们二者在含量上相互保持土壤健康的平衡

点进行研究,从而为该区域盐渍化土壤的治理和施肥标准提供理论依据。

4 结 论

1)塔里木河上游棉区 0~200 cm 土层土壤全盐含量为 1.17~2.44 g · kg⁻¹,其中盐分离子主要以 Ca²⁺、Na⁺ 和 SO₄²⁻ 为主,说明 Ca²⁺、Na⁺ 和 SO₄²⁻ 是影响塔里木河上游棉区土壤盐渍化的主要特征因子;通过 Cl⁻/2SO₄²⁻<0.20 可知,该区域盐分组成是以钙型硫酸盐为主。因此,在棉花种植过程中减少含有 Ca²⁺、Na⁺ 和 SO₄²⁻ 这些化肥的施用。

2)在空间分布上,0~60 cm 土层土壤全盐含量东高西低,呈现斑块状分布。不同区域的土壤盐分含量分布有所差异,应对受盐害重的区域及时进行土壤盐渍化治理,对于盐害轻的区域对土壤进行预防,防止因为不合理的施肥等人为原因导致土壤盐渍化加重。

3)塔里木河上游棉田 0~200 cm 土层土壤剖面硝态氮、速效磷、速效钾含量分别为 18.9~65.1、1.3~31.2、64.9~107.9 mg · kg⁻¹,0~60 cm 土层土壤硝态氮、速效磷、速效钾含量相对较高,随着土层的加深,其含量相对较低。0~40 cm 土层土壤硝态氮、速效钾含量与全盐含量呈极显著正相关关系,说明施肥能影响塔里木河上游棉田土壤盐分含量。因此,合理施肥能减轻土壤盐渍化,预防在作物种植过程中出现盐害风险。

参 考 文 献:

- [1] 麦麦提吐尔逊·艾则孜,米热古力·艾尼瓦尔,古丽夜巴·艾尼瓦尔,等.伊犁绿洲土壤盐渍化与浅层地下水水化学特征分析[J].干旱地区农业研究,2015,33(5):193-200,257.
Mai Mai Ti Tu Er Xun - Ai Ze Zi, Mi Re Gu Li - Ai Ni Wa Er, Gu Li Zi Ba - Ai Ni Wa Er, et al. Analysis on soil salinization and hydrochemical characteristics of shallow ground water in Ili Oasis[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33(5): 193-200, 257.
- [2] SCHOUPS G, HOPMANS J W, YOUNG C A, et al. Sustainability of irrigated agriculture in the San Joaquin Valley, California[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2005, 102(43): 15352-15356.
- [3] BARTELS D, SUNKAR R. Drought and salt tolerance in plants[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 2005, 24(1): 23-58.
- [4] 新疆维吾尔自治区农业厅.新疆土壤[M].北京:科学出版社,1996:304-336.
Department of Agriculture and Rural Affairs of Xinjiang. Soil in Xinjiang[M]. Beijing: Science Press, 1996: 304-336.
- [5] WEI Y, DING J L, YANG S T, et al. Soil salinity prediction based on scale-dependent relationships with environmental variables by discrete wavelet transform in the Tarim Basin[J]. Catena, 2021, 196: 104939.
- [6] QADIR M, SCHUBERT S. Degradation processes and nutrient con-

- straints in sodic soils[J]. *Land Degradation & Development*, 2002, 13(4): 275-294.
- [7] HENDERSON S W, WEGE S, QIU J E, et al. Grapevine and arabisopsis cation-chloride cotransporters localize to the golgi and Trans-Golgi network and indirectly influence long-distance ion transport and plant salt tolerance[J]. *Plant Physiology*, 2015, 169(3): 2215-2229.
- [8] MEENA M, JOSHI P, NARJARY B, et al. Effects of municipal solid waste compost, rice-straw compost and mineral fertilisers on biological and chemical properties of a saline soil and yields in a mustard-pearl millet cropping system[J]. *Soil Research*, 2016, 54: 958-969.
- [9] HERBST M, DIEKKRÜGER B. Modelling the spatial variability of soil moisture in a micro-scale catchment and comparison with field data using geostatistics[J]. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2003, 28(6/7): 239-245.
- [10] Jovanovic N Z, Annandale J G, Westhuizen A M, et al. Monitoring the effect of irrigation with gypsiferous mine wastewater on crop production potential as affected by soil water and salt balance [J]. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 2004, 104(2): 73-81.
- [11] GOLOVANOV A I, SOTNEVA N I. Mathematical simulation of water and salt transfer in geosystems of solonchic soils in the Northern Caspian region[J]. *Eurasian Soil Science*, 2009, 42(3): 251-266.
- [12] KHAN N M, SATO Y. Monitoring hydro-salinity status and its impact in irrigated semi-arid areas using IRS-1B LISS-II data [J]. *Asian Journal of Geoinform*, 2001, 1(3): 63-73.
- [13] DEHAAN R L, TAYLOR G R. Field-derived spectra of salinized soils and vegetation as indicators of irrigation-induced soil salinization [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 80(3): 406-417.
- [14] NURMEMET I, GHLAM A, DING J L, et al. Monitoring soil salinization in keriya river basin, northwestern China using passive reflective and active microwave remote sensing data [J]. *Remote Sensing*, 2015, 7(7): 8803-8829.
- [15] PENG J, BISWAS A, JIANG Q S et al. Estimating soil salinity from remote sensing and terrain data in Southern Xinjiang province, China [J]. *Geoderma*, 2019, 337: 1309-1319.
- [16] ADAM I, MICHOT D, GUERO Y, et al. Detecting soil salinity changes in irrigated vertisols by electrical resistivity prospecting during a desalination experiment [J]. *Agricultural Water Management*, 2012, 109: 1-10.
- [17] ZARAI B, WALTER C, MICHOT D, et al. Integrating multiple electromagnetic data to map spatiotemporal variability of soil salinity in Kairouan region, Central Tunisia [J]. *Journal of Arid Land*, 2022, 14(2): 186-202.
- [18] 窦旭, 史海滨, 李瑞平, 等. 盐渍化土壤剖面盐分与养分分布特征及盐分迁移估算 [J]. *农业机械学报*, 2022, 53(1): 279-290, 330.
- DOU X, SHI H B, LI R P, et al. Distribution characteristics of salinity and nutrients in salinized soil profile and estimation of salt migration [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2022, 53(1): 279-290, 330.
- [19] 查向浩, 莫治新, 李宁, 等. 新疆南疆绿洲-荒漠过渡带土壤盐分和养分空间异质性 [J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(8): 250-254.
- ZHA X H, MO Z X, LIN N, et al. Spatial heterogeneity of soil salinity and nutrient in oasis-desert transition zone in southern Xinjiang [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(8): 250-254.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 188-199.
- BAO S D. *Soil and agricultural chemistry analysis* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 188-199.
- [21] 王颖, 刘会玲, 崔江慧, 等. 环渤海地区盐渍土养分及盐分离子分布特征 [J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(1): 344-348, 356.
- WANG Y, LIU H L, CUI J H, et al. Distribution characteristics of nutrients and salt ions in saline soil around Bohai Sea [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2016, 44(1): 344-348, 356.
- [22] 刘延锋, 靳孟贵, 金英春, 等. 新疆焉耆盆地土壤盐渍化特征分析 [J]. *水土保持通报*, 2004, 24(1): 49-52.
- LIU Y F, JIN M G, JIN Y C, et al. Characteristics analysis of soil salinization in Yanqi Basin of Xinjiang Wei Autonomous Region [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2004, 20(1): 49-52.
- [23] 李子熙. 新疆盐土的形成和分类 [J]. *土壤*, 1978, (5): 185-186.
- LI Z X. Formation and classification of saline soils in Xinjiang [J]. *Soils*, 1978, (5): 185-186.
- [24] 张翠丽, 支金虎, 张桂兵, 等. 塔里木河上游棉区不同类型盐土阳离子交换量分布特征及影响因素 [J]. *新疆农业科学*, 2020, 57(6): 1057-1070.
- ZHANG C L, ZHI J H, ZHANG G B, et al. Distribution characteristics and influencing factors of cation exchange capacity of different types of saline soil in cotton planting region of upper reach of Tarim River [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2020, 57(6): 1057-1070.
- [25] QADIR M, SCHUBERT S. Degradation processes and nutrient constraints in sodic soils [J]. *Land Degradation & Development*, 2002, 13(4): 275-294.
- [26] 尔晨, 林涛, 夏文, 等. 灌溉定额和施氮量对机采棉田水分运移及硝态氮残留的影响 [J]. *作物学报*, 2022, 48(2): 497-510.
- ER C, LIN T, XIA W, et al. Coupling effects of irrigation and nitrogen levels on yield, water distribution and nitrate nitrogen residue of machine-harvested cotton [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2022, 48(2): 497-510.
- [27] 范庆锋, 张玉龙, 陈重, 等. 保护地土壤盐分积累及其离子组成对土壤 pH 值的影响 [J]. *干旱地区农业研究*, 2009, 27(1): 16-20.
- FAN Q F, ZHANG Y L, CHEN C, et al. Effects of soil salinity accumulating and ion constitution on pH in the soil of protected field [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2009, 27(1): 16-20.
- [28] 弋良朋, 马健, 李彦. 不同土壤条件下荒漠盐生植物根际盐分特征研究 [J]. *土壤学报*, 2007, 44(6): 1139-1143.
- YI L P, MA J, LI Y. Soil salt regime in rhizosphere of desert halophytes in different soils [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(6): 1139-1143.
- [29] ROGEL J A, ARIZA F A, SILLA R O. Soil salinity and moisture gradients and plant zonation in Mediterranean salt marshes of Southeast Spain [J]. *Wetlands*, 2000, 20(2): 357-372.