

盐渍化对稻麦轮作模式下黄河三角洲盐碱地小麦土壤理化性质和酶活性的影响

李明辉¹, 杨欣萍¹, 郭思佳¹, 张文慧¹, 许骥坤^{1, 2}, 赵帅鹏^{1, 2*}

(1.山东航空学院生物与环境工程学院, 山东 滨州 256600; 2.山东省黄河三角洲野生植物资源开发利用工程技术研究中心, 山东 滨州 256600)

摘 要:【目的】本研究旨在探讨稻麦轮作模式下盐渍化对黄河三角洲小麦土壤理化性质及酶活性的影响。【方法】通过在低、中、高盐度条件下轮作小麦, 在小麦生长季采集土壤样品, 测定土壤电导率、含水率和养分含量, 并分析蔗糖酶、纤维素酶和淀粉酶等土壤酶的活性变化, 从而分析土壤理化性质对于土壤酶活性的影响机制。【结果】结果表明, 从不同时期来看, 拔节期时速效磷含量对淀粉酶活性影响显著, 全氮和有机质含量对纤维素酶和蔗糖酶活性影响显著。开花期时全氮含量对蔗糖酶活性影响显著, 速效钾含量对纤维素酶活性影响显著, 有机质含量对淀粉酶活性影响显著。灌浆期时全氮含量对3种酶活性影响都显著, 速效磷含量对淀粉酶活性影响显著, 有机质含量对纤维素酶活性影响显著。【结论】从小麦的整个生长周期来看, 速效磷含量对于蔗糖酶和淀粉酶活性影响显著, 速效钾含量对纤维素酶活性影响显著。从总体上看, 含盐量和含水量对于3种酶活性都有显著的影响, 不同的酶对于盐度和水有不同的适应程度。

关键词: 稻麦轮作; 盐渍化; 土壤理化性质; 酶活性; 小麦; 黄河三角洲

Effects of physicochemical properties and enzyme activity of salinization on wheat soil in Yellow River Delta under rice-wheat rotation

Li Minghui¹, Yang Xinpeng¹, Guo Sijia¹, Zhang Wenhui¹, Xu Jikun^{1,2}, Zhao Shuaipeng^{1,2*},

(1. Shandong University of Aeronautics, Binzhou City, Shandong Province; 2. Engineering Technology Research Center for the Development and Utilization of Wild Plant Resources in the Yellow River Delta, Binzhou City, Shandong Province)

Abstract: 【Objective】The purpose of this study was to investigate the effects of salinization under rice-wheat rotation on soil physicochemical properties and enzyme activities of wheat in the Yellow River Delta. 【Method】By rotating wheat at under low, medium and high salinity conditions, soil samples were collected during the wheat growing season, soil conductivity, moisture content and nutrient content were determined, and the activities of soil enzymes such as sucrase, cellulase and amylase were analyzed, so as to analyze the influence mechanism of soil physicochemical properties on soil enzyme activity. 【Result】The results showed that the content of available phosphorus had a significant effect on amylase activity at jointing stage, and the content of total nitrogen and organic matter had a significant effect on the activities of cellulase and sucrase at different stages. Total nitrogen content had a significant effect on sucrase activity, available potassium content had a significant effect on cellulase activity, and organic matter content had a significant effect on amylase activity at flowering stage. At the grain filling stage, total nitrogen content had a significant effect on the activities of the three enzymes, available phosphorus content had a significant effect on amylase activity, and organic matter content had a significant effect on cellulase activity. 【Conclusion】From the whole growth cycle of wheat, the content of available phosphorus had a significant effect on the activities of sucrase and amylase, and the content of available potassium had a significant effect on the activity of cellulase. In general, salt content and water content had significant effects on the activities of the three enzymes, and different enzymes had different adaptations to salinity and water.

Key words: rice-wheat rotation; Salinization; soil physicochemical properties; enzyme activity; Wheat; Yellow River Delta

黄河三角洲属于退海之地, 由于受到河流、海洋、地形等因素的影响, 其地下水的埋深很浅, 矿化度很高, 盐水难以排出, 造成土壤盐渍化(Li X 等, 2019)。受长期盐胁迫的影响, 黄河三角洲作物生长的优良土壤环境被破坏, 作物正常生长受限。土壤环境是“因”, 作物表现性状是“果”。土壤环境中水盐转移的主要影响因素有土壤的颗粒结构与组成、水的矿化度和潜水平埋深等。盐碱土的土壤孔隙率低, 孔隙

率随着土壤含盐量的增加而减小,导致土壤结构板结、通气透水性差(You Z 等,2017)。在土壤含水量方面,低矿化度影响低吸力段水分特征曲线,高矿化度影响整个吸力段水分特征曲线(郑乾坤等,2019);通过土壤耕层掺砂可改变土壤颗粒结构,能有效地抑制水分蒸发与土壤盐分表聚,并可提高土壤含水率(王荧等 2019;张宇航等 2019)。同时,土壤酶作为土壤环境中机质矿化和养分循环等过程的主要调节物质,能够反映土壤养分转化过程的速度和微生物代谢的强弱,土壤生态环境、土壤肥力和质量,是最敏感有效的生物活性指标之一。对盐碱地作物的脲酶研究发现,甘薯根际土壤苗期和成熟期脲酶活性较高,花生苗期根际土壤蔗糖酶活性高,后期略微下降。成熟期不同作物根际土壤蔗糖酶活性都显著高于非根际(王温澎等,2018)。碳代谢是植物体内最重要的基础代谢,植物在光合作用中将无机物二氧化碳同化为有机物碳水化合物等以及在呼吸作用和光呼吸作用中能够将有机碳异化成二氧化碳的全部生理生化过程的通称。包括光合产物淀粉和蔗糖的合成、降解与转化,也包括呼吸过程中的糖酵解、三羧酸循环、戊糖磷酸途径和乙醇酸氧化途径以及乙醛酸循环等。然而盐的胁迫作用会严重限制植物中碳水化合物的积累(赵明宇等,2023),通过测定碳代谢相关酶的活性(如土壤蔗糖酶、淀粉酶、纤维素酶)(朱有贤等,2023),能够进一步明确轮作耕作中小麦种植对盐碱地土壤环境的影响。

黄河三角洲盐碱地的综合利用与开发已成为“黄河流域生态保护与高质量发展”的内在要求。提升盐碱地的粮食产量,向盐碱地要粮是黄河三角洲盐农业提质增效的主要方向。粮饲间作、作物轮作、两年三熟、客土改良、表土深翻等耕作方式被用于盐碱地作物种植,以提高作物产量与土地利用效率。在轮作模式中,稻麦轮作正在黄河三角洲盐碱地试验推广,并在部分地区实现了“一年两熟”,提高了种植效益(Liu Q 等 2016)。然而,稻麦轮作模式下不同盐渍区稻麦生长的土壤环境的差异性不明确,需要进一步深入研究。为此,本研究在稻麦轮作的基础上,研究不同盐度对小麦季土壤水盐运移特征、养分特性、酶活性等理化指标影响,阐明不同盐度下稻麦轮作农田土壤水盐运移、养分特征、碳代谢相关酶活性的时空变化特征;揭示稻麦轮作模式下盐碱农田土壤性状对盐碱的响应机制,为黄河三角洲盐碱土壤的高质量利用与开发提供有价值参考资料和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地点位于山东省东营市垦利区中国科学院种子创新研究院,东经 $118^{\circ}54'53''$,北纬 $37^{\circ}42'37''$ 。该研究区属于暖温带季风型大陆性气候,冬季寒冷,夏季炎热,四季分明。全年平均温度 $10-20^{\circ}\text{C}$,平均降水量 555.9mm ,降水主要集中于夏季,日照充足。实验地属于典型的滨海盐碱地类型。

1.2 试验材料

供试小麦品种为农大 753,该品种具有高产、多抗、广适的特性,正在黄河三角洲盐碱地示范推广。供试品种由山东航空学院小麦创新育种团队提供。

1.3 试验设计

本研究选取种植水稻(圣稻 22)的低、中、高 3 种盐碱地农田(土壤含盐量分别在 2‰ 、 4‰ 、 6‰)为试验用地,前茬收割完水稻后,播种供试小麦品种,开展稻麦轮作。在小麦种植季,大田常规管理,分别在小麦生长的拔节期、开花期和灌浆期 3 个关键时期进行样点土壤采样。每个时期每个盐度农田采用对角线方式选取三个样点,每个样点利用土钻选取 $0-20\text{cm}$ 、 $20-40\text{cm}$ 、 $40-60\text{cm}$ 、 $60-80\text{cm}$ 和 $80-100\text{cm}$ 五个不同深度的土样,密封袋保存,带回实验室风干,并研磨并过 20 目筛,用于土壤的理化性质和酶活性的测定。

1.4 测定指标以及方法

1.4.1 土壤理化性质

小麦不同生长阶段不同深度的土壤含盐量用电导率表示,电导率利用电导率仪测定(水土质量体积比为 5:1);土壤含水率利用真空干燥法进行测定;土壤速效钾、速效磷、全氮和有机质含量采用土壤养分

速测仪进行测定。

1.4.2 土壤酶活性的测定

土壤蔗糖酶、淀粉酶和纤维素酶活性分别借助合肥莱尔生物科技有限公司的土壤蔗糖酶（S-SC）土壤淀粉酶和土壤纤维素酶（S-CL）测试盒进行，利用可见分光光度法分别在 $\lambda=546\text{mm}$ 处进行检测。

1.5 数据处理与分析

根据样本的取样特点，每个检测指标进行3次重复，用Excel 2019和SPSS 25.0软件对试验数据进行分析处理，采用LSD进行多重比较，不同大写字母表示同一时期不同土壤深度间的显著性差异($P<0.05$)；不同小写字母表示同一土壤深度不同时期显著性差异($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同盐度下土壤含水率和含盐量的时空动态监测

不同盐度下小麦土壤含水率的时空分布特征如图1所示。在低盐度时，土壤含水率随着土壤深度的不断增加总体也呈现增高趋势；中盐度时，在土壤深度0-20cm处，含水率最低

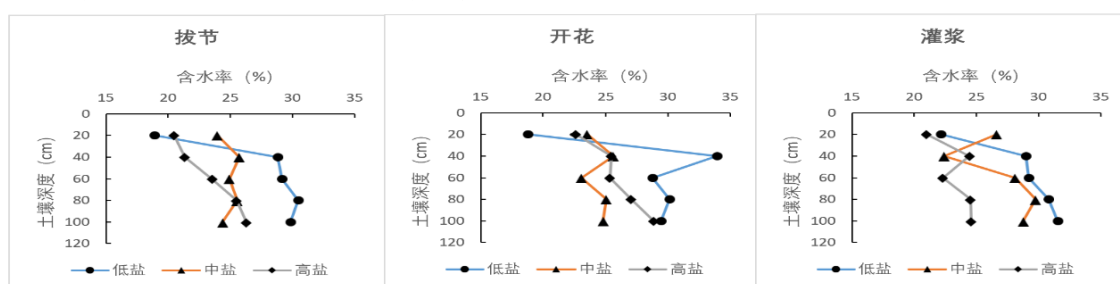


图1. 小麦3个时期不同盐度下土壤含水量时空分布图

Fig. 1 Spatiotemporal distribution of soil water content under different salinity in three periods

为23.94%，在土壤深度40cm处含水率最高达25.7%；高盐度时，土壤深度100cm处含水率最高为26.28%，并且随着土壤深度的增加含水量总体呈现增加趋势。由此可见，土壤含水率随着土壤深度的增加总体呈现增长趋势；而对同一深度而言，40cm以下土壤含水率总体呈现低盐>中盐>高盐。

土壤电导率表示的是土壤中盐分离子的总量，而土壤中盐离子的含量是用来评价盐碱地土壤质量的指标（李鑫等，2021）。图2表示3个时期不同盐度下土壤电导率的时空变化，由图可知小麦拔节期时，0-40cm的土层中，三个不同农田的电导率表现为高盐>中盐>低盐，随着土层的加深，大致表现为中盐>低盐>高盐。

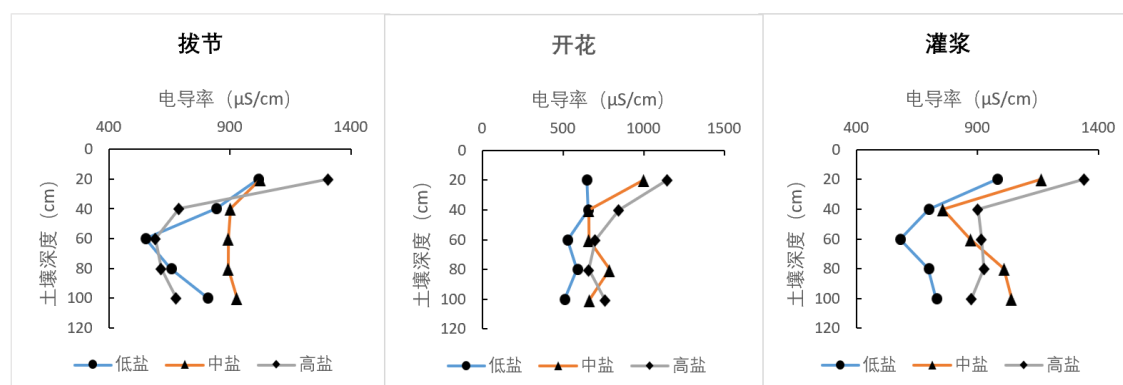


图2. 不同盐度下小麦土壤含盐量时空分布图

Fig. 2 Spatiotemporal distribution of soil salinity in wheat under different salinity

在开花期时，低盐农田的电导率值要明显小于其它农田，而在60cm以上的土层中高盐农田要大于中盐农田；灌浆期，60cm以上的土层，三块不同农田的电导率和开花期一致，都表现为高盐>中盐>低盐，而60-100cm的土层中，则表现为中盐>高盐>低盐，在深度上低盐和中盐农田的电导率均表现为先减少后增

加的趋势，而高盐在出现先减少后增加后的趋势后又出现减少的现象。

2.2 不同盐度下土壤养分的时空监测

2.2.1 土壤速效钾含量时空变化特征

速效钾含量高的土壤能够有效供应植物生长所需的钾元素，从而促进作物健康生长、提高产量和品质。图3表示不同盐度下小麦土壤速效钾含量的时空变化，从图中可以看出，在拔节期，3个不同农田在土壤深度0-100cm之间的均有不同程度的显著性差异，低盐农田的土壤速效钾含量随着土壤深度的增加逐渐减少，中盐农田则呈现出比较平稳的趋势，而高盐农田先减少后增加，开花期在0-100cm土壤深度之间3个农田之间同样存在不同程度的显著差异，且低盐农田的速效钾含量要显著小于其它两个农田，在灌浆期40-100cm之间，低盐农田的速效钾含量要显著低于其它2个农田，高盐农田速效钾的含量不受土壤深度的影响。低盐农田在灌浆期时速效钾含量有最大值为146.5mg/kg，中盐和高盐农田的速效钾含量均在拔节期达到最大分别为185.05mg/kg和274.8mg/kg。

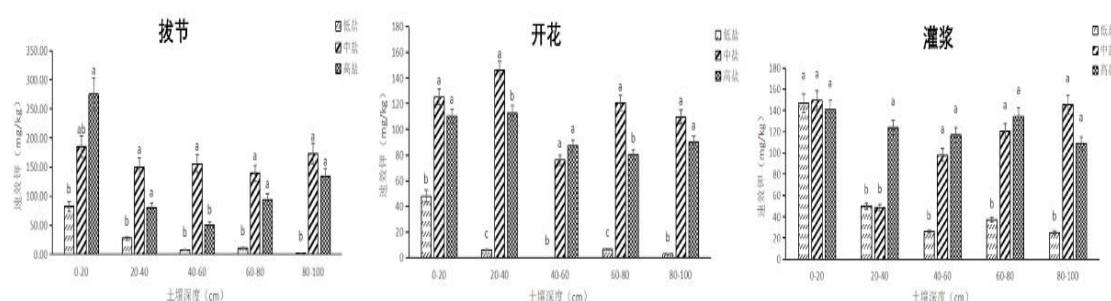


图3 小麦3个时期不同盐度下土壤速效钾含量的时空分布图

Fig. 3 Spatiotemporal distribution of soil available potassium content in wheat at different salinity at three stages

不同的小写字母代表同一时期同一深度下在不同盐度农田在0.05水平上差异显著，下同。Different lowercase letters represent significant differences at the 0.05 level in farmland with different salinity at the same depth in the same period.

2.2.2 土壤速效磷含量时空变化特征

速效磷含量高的土壤能够满足植物对磷的需求，促进根系发育、开花结果和籽粒形成，对于植物的生长有着重要意义。图4是不同盐度下小麦土壤速效磷含量的时空变化。由图可知，拔节期时，在0-20cm土层3个不同农田的速效磷含量无显著性差异，而其它土层之间均有不同程度的显著性差异，在开花期0-10cm土层之间3个农田均有不同程度的显著性差异，同时3个农田的速效磷含量均在0-20cm土层之间达到最高，在灌浆期0-80cm土层之间3个农田有不同程度的显著性差异，而80-100cm土层没有显著性差异，中盐农田的速效磷含量受土壤深度影响较小。3个农田的速效磷含量同时在灌浆期出现最高值，且远远高于其它时期，低中高农田速效钾含量最大值分别为750.3mg/kg、557.4和mg/kg734.4mg/kg。

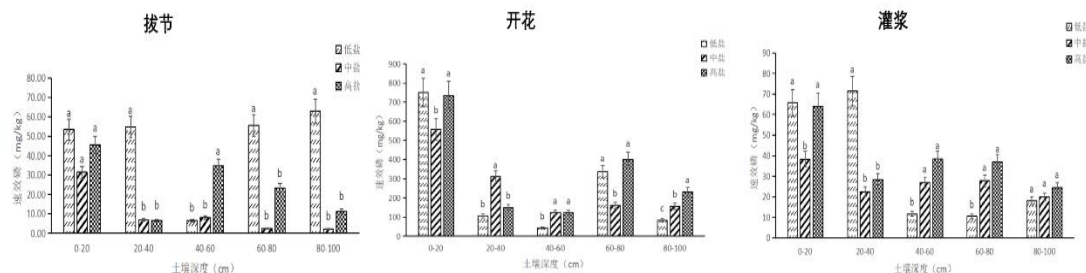


图4 小麦3个时期不同盐度下土壤速效磷含量的时空分布图

Fig. 4 Spatiotemporal distribution of soil available phosphorus content in wheat at different salinity at three stages

2.2.3 土壤全氮含量时空变化特征

全氮含量是评估土壤肥力的重要指标之一。通过测定土壤中的全氮含量，可以了解土壤的氮素供应状况，为科学施肥提供依据，避免氮肥的过量施用或不足。图 5 表示的是不同盐度下小麦土壤全氮含量的时空变化，从图中可以得到，在拔节期，3 个农田的全氮含量在 40-60cm 土层没有显著性差异，而另外 4 个土层之间均有不同程度的显著性差异，同时低盐和高盐农田在土壤深度上的变化相对平稳，开花期时 3 个农田的土壤全氮含量在 0-100cm 土层之间均有不同程度显著差异，除了 20-40cm 土层之间高盐农田和中盐农田没有显著差异，其余土层之间高盐农田的全氮含量均要显著低于其它 2 个农田，灌浆期 40-60cm 土层无显著差异，其它土层都有不同程度显著差异，40-60cm 和 80-100cm 土层的中盐高盐农田以及 60-80cm 土层的低盐高盐农田其全氮含量非常少(已超出仪器的最小测量值范围)。低盐农田的全氮含量在开花期时有最高值为 1.21‰，中盐和高盐农田均在拔节期有最高值分别为 1.16‰和 0.4‰。

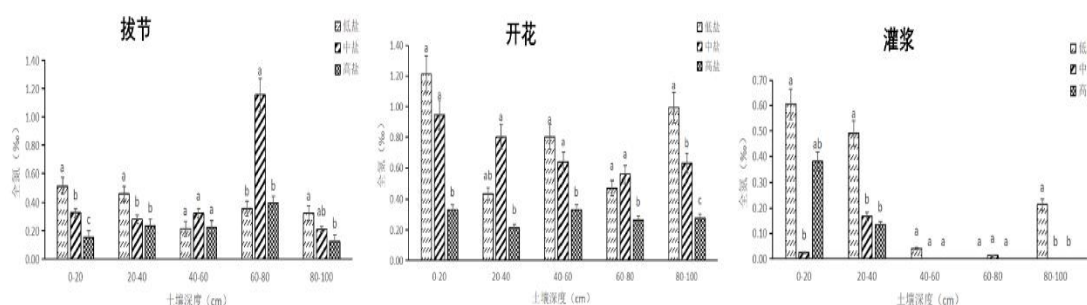


图 5 小麦 3 个时期不同盐度下土壤全氮含量的时空分布图

Fig. 5 Spatial and temporal distribution of soil total nitrogen content in wheat at different salinity at three stages

2.2.4 土壤有机质含量时空变化特征

有机质能改善土壤结构，增加土壤团粒结构的形成，提高土壤的通气性和透水性，增强土壤的保水保肥能力。图 6 是不同盐度下小麦土壤有机质含量的时空变化，由图可知，在小麦拔节期 3 个农田的土壤有机质含量在 60-80cm 土层没有显著性差异，其它的土层 3 个农田有不同程度的显著性差异，同时 3 个农田的有机质含量受土壤深度的影响较小，开花期时 3 个农田在 5 个深度土层之间均有显著性差异，0-20cm 土层之间高盐农田和低盐农田的有机质含量没有显著性差异，但显著高于中盐农田，其余土层高盐农田的有机质含量均显著高于中盐和低盐农田，在灌浆期 3 个农田在 20-40cm 和 60-80cm 之间无显著差异，其它 3 个土层均有不同程度显著差异，低盐农田的有机质含量在拔节期有最高值为 15.74‰，中盐农田在灌浆期有最高值为 13.32‰，高盐农田在开花期有最高值为 15.10‰。

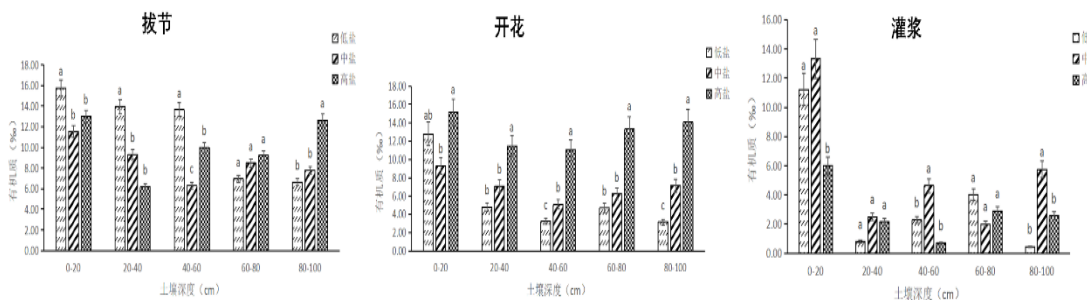


图 6 小麦 3 个时期不同盐度下土壤有机质含量的时空分布图

Fig. 6 Spatiotemporal distribution of soil organic matter content in wheat at different salinity at three stages

2.3 不同盐度下土壤酶活性的时空监测

2.3.1 土壤蔗糖酶活性时空变化特征

图 7 表示的是不同盐度下小麦土壤蔗糖酶活性的时空变化。从图中可以看出 3 个不同农田在不同时期均表现出随着浅层土壤的酶活性高于深层的规律。在拔节期时, 3 个农田的蔗糖酶活性在 40-60cm 土壤深度没有显著差异, 其余土层均展现出不同程度的显著性差异, 开花期时 40-80cm 之间没有显著差异, 其它 2 个土层均呈现出低盐农田显著高于其它 2 个农田, 灌浆期时 20-80cm 均无显著差异, 0-20cm 土壤深度时同样是低盐显著高于中高盐农田。低盐农田的蔗糖酶活性在灌浆期最高为 63.85mg/(g·d), 中盐和高盐农田均在拔节期时最高为 28.98mg/(mg·d) 和 34.97mg/(g·d)。

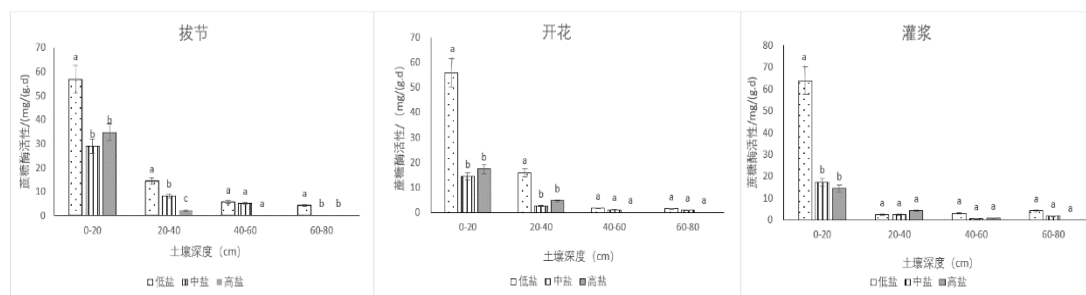


图 7 小麦 3 个时期不同盐度下土壤蔗糖酶活性的时空分布图

Fig. 7 Spatiotemporal distribution of soil sucrose activity in wheat at different salinity at three stages

2.3.2 土壤纤维素酶活性时空变化特征

土壤纤维素酶活性时空变化特征如图 8 所示, 由图可以看出, 在拔节期 3 个农田的土壤纤维素酶活性在 0-40cm 之间存在显著差异, 40-80cm 之间没有显著差异, 在开花期中盐农田在 0-60cm 土壤深度之间均显著高于其它 2 个农田, 灌浆期时 3 个农田在 0-20 和 60-80cm 2 个土层之间没有显著差异, 其余 2 土层之间有显著差异。

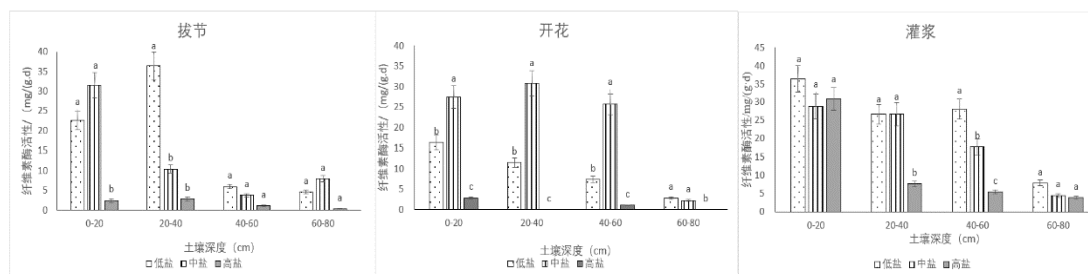


图 8 小麦 3 个时期不同盐度下土壤纤维素酶活性的时空分布图

Fig. 8 Spatiotemporal distribution of soil cellulase activity in wheat at different salinity at three stages

2.3.3 土壤淀粉酶活性时空变化特征

从图 9 的土壤淀粉酶活性的时空变化可以看出, 在拔节期 0-20cm 土层之间 3 个农田的土壤淀粉酶活性存在显著性, 且表现为低盐>高盐>中盐, 其它土层之间均无显著差异, 开花期时 3 个农田在 40-80cm 之间没有显著差异, 其它 2 个土层之间有显著差异, 灌浆期时 0-20cm 土层没有显著差异, 其它土层之间均存在不同程度的显著差异。三个农田的淀粉酶活性均在开花期时达到最高, 分别为 3.08mg/(g·d)、2.16mg/(g·d) 和 3.26mg/(g·d)。

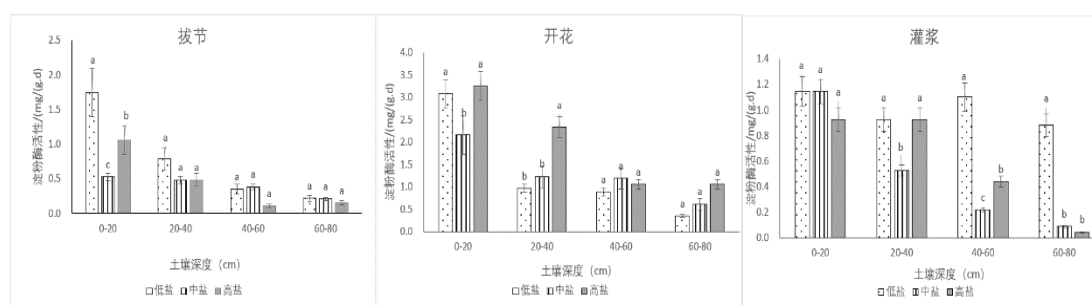


图 9. 小麦 3 个时期不同盐度下土壤淀粉酶活性的时空分布图

Fig. 9 Spatiotemporal distribution of soil amylase activity in wheat at different salinity at three stages

3 讨论与结论

前人研究表明,土壤盐度、水分、养分、温度等因素改变时,都会引起土壤酶活性的变化,如土壤含水量过大会限制土壤酶活性,土壤的盐度对土壤酶活性具有显著的限制作用(段陶刚等,2019)。本研究表明,在拔节期,低盐度农田的平均含水量、全氮、有机质和速效磷含量,以及 3 种酶活性最高,而速效钾的平均含量最低,这与大多数研究结果是相近的。中盐农田的平均含盐量和速效钾含量最高,而平均速效磷含量和淀粉酶活性最低。高盐农田的平均含水量、全氮和有机质含量最低,纤维素和蔗糖酶活性最低。因此,可以推测对于小麦拔节期而言,低盐农田的含水量有益于 3 种酶活性表达,而全氮、有机质和速效磷含量的增加对 3 种酶活性起正向促进作用,其中速效磷含量对于淀粉酶活性存在显著影响,而全氮和有机质含量对纤维素酶和蔗糖酶活性亦存在显著影响。在开花期,低盐农田的平均含水量和全氮含量最高,平均速效钾和有机质含量最低,平均蔗糖酶活性最高;中盐农田平均速效钾含量和纤维素酶活性最高,平均含水量和蔗糖酶活性最低;高盐农田的平均含盐量、有机质含量和淀粉酶活性最高,平均全氮含量和纤维素酶活性最低。因而,对于小麦开花期来说,可以推测低盐农田的含水量范围有利于蔗糖酶活性的表达,而全氮含量对于蔗糖酶的影响显著,速效钾含量对纤维素酶活性影响显著,有机质含量则对淀粉酶活性影响显著。在灌浆期,低盐农田的平均含水量、全氮含量和 3 种酶活性最高,平均速效钾含量和含盐量最低;中盐农田的平均有机质含量最高,平均速效磷含量、全氮含量和淀粉酶活性最低;高盐农田平均含盐量和速效钾含量最高,平均含水量、有机质含量和纤维素酶活性最低。由此推测,在小麦灌浆期,低盐农田的含水量依然有利于 3 种酶的表达,全氮含量显著影响 3 种酶活性,速效磷含量对淀粉酶活性影响显著,有机质含量对纤维素酶活性影响显著。

从小麦的整个生长周期来看,低盐农田在平均含水量、速效磷含量、蔗糖酶和淀粉酶活性最高,平均含盐量和速效钾含量最低。中盐农田的平均速效钾含量和纤维素酶活性最高,平均全氮含量和淀粉酶活性最低,高盐农田的平均含盐量、有机质含量最高,平均全氮含量和纤维素酶活性最低。这说明低盐农田的含水量范围是有利于蔗糖酶和淀粉酶的表达,速效磷含量可能对于蔗糖酶和淀粉酶活性具有正向促进作用,速效钾含量可能促进纤维素酶活性的表达。同时,3 种酶活性受盐度影响较大,蔗糖酶和淀粉酶在低盐情况下活性最好,纤维素酶在中盐情况下活性最好,而高盐情况下 3 种酶活性都受到了不同程度的抑制。

参 考 文 献

李鑫,张文菊,郭磊,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.

(LI Xin, ZHANG Wenju, WU Lei, et al. Construction and evaluation method of soil quality evaluation index system [J].Scientia Agricultura Sinica,2021,54(14):3043-3056.[in Chinese])

王温澎,邵云,李英臣,等.华北平原 4 种主要农作物非根际和根际土壤活性碳氮和酶活性特征[J].河南师范大学学报(自然科学版),2018,46(05):77-84.

- (Wang Wenpeng, Shao Yun, Li Yingchen, et al. Characteristics of non-rhizosphere and rhizosphere soil active carbon, nitrogen and enzyme activities of four major crops in the North China Plain[J].Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition),2018,46(05):77-84. [in Chinese])
- 王荧,郭航,李娟,等.“改排为蓄”和“覆沙改良”整治前后盐碱地微观结构研究[J].灌溉排水学报,2019,38(S1):75-78.
- (Wang Ying, Guo Hang, Li Juan, et al." Study on microstructure of saline-alkali land before and after the remediation of "drainage to storage" and "improvement of sediment cover"[J].Journal of Irrigation and Drainage,2019,38(S1):75-78. [in Chinese])
- 殷陶刚, 李玉泽. 土壤酶活性影响因素及测定方法的研究进展[J]. 矿产勘查, 2019, 10(6):1523-1528.
- (Yin Taogang,LI Yuze. Research progress on influencing factors and determination methods of soil enzyme activity Mineral Exploration,2019, 10(6):1523-1528. [in Chinese])
- 赵明宇, 沈诗颖, 王小丫等. 向海湿地不同植被土壤碳代谢相关酶活性分布特征[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2023, 55(04): 119-126.
- (Zhao Mingyu, Shen Shiyong, Wang Xiaoya, et al. Distribution characteristics of soil carbon metabolism-related enzyme activities in different vegetation in seaward wetland[J]. Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition),2023,55(04):119-126. [in Chinese])
- 郑乾坤,毛伟兵,孙玉霞,等.颗粒组成变化对粘质盐土含盐量和小麦生长的影响[J].中国农学通报,2019,35(11):88-94.
- (Zheng Qiankun, Mao Weibing, Sun Yuxia, et al. Effects of particle composition changes on salt content and wheat growth in clayey saline soil[J].Chinese Agricultural Science Bulletin,2019,35(11):88-94. [in Chinese])
- 张宇航,高佩玲,张晴雯,等.中度盐碱土掺沙对土壤水盐运移和夏玉米生长的影响[J].中国土壤与肥料,2019(02):83-90.
- (Zhang Yuhang, GAO Peiling, ZHANG Qingwen, et al. Effects of moderate saline-alkali soil sand mixing on soil water and salt transport and summer maize growth[J].Soil and Fertilizer in China,2019(02):83-90. [in Chinese])
- 朱育贤, 施诗, 岂子雁, 等.褪黑素对碱性盐胁迫下猴樟呼吸代谢相关酶活性的影响[J].现代农业科技, 2023(24): 88-91.
- (Zhu Yuxian, Shi Shi, Qi Ziyang, et al. Effect of melatonin on enzyme activities related to respiratory metabolism of C. camphora under alkaline salt stress[J].Modern Agricultural Science and Technology,2023(24):88-91. [in Chinese])
- Li X, Xia J, Zhao X, et al. Effects of planting Tamarix chinensis on shallow soil water and salt content under different groundwater depths in the Yellow River Delta[J]. Geoderma, 2019, 335: 104-111.
- Liu Q, Li F, Li J, Li J, Luo B, Huang C. Geochemical and isotopic evidence of shallow groundwater salinization in a reclaimed coastal zone: the Yellow River Delta, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2016, 75(14): 1107.
- You Z, Lai Y, Zhang M, Liu E. Quantitative analysis for the effect of microstructure on the mechanical strength of frozen silty clay with different contents of sodium sulfate[J]. Environmental Earth Sciences, 2017, 76(4): 1-11.