

DOI:10.13870/j.cnki.stbcb.2025.02.021 CSTR:32310.14.stbcb.2025.02.021

翟杰,杨树青,刘月,等.微咸水灌溉下微生物菌肥对盐碱土盐离子及枸杞生长的影响[J].水土保持学报,2025,39(2)

ZHAI Jie, YANG Shuqing, LIU Yue, et al. Effect of microbial fertiliser on salt ions content and growth of *Lycium barbarum* in saline soil under brackish water irrigation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2025, 39(2)

微咸水灌溉下微生物菌肥对盐碱土 盐离子及枸杞生长的影响

翟杰¹, 杨树青¹, 刘月², 陈琦¹

(1.内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院,呼和浩特 010018; 2.通辽职业学院农牧系,内蒙古 通辽 028000)

摘要: [目的] 为研究微咸水灌溉下微生物菌肥施用量对盐碱土壤盐离子和枸杞生长的影响及揭示土壤盐离子与枸杞生长指标之间的关系。[方法] 在河套灌区中度盐碱土上,开展微咸水灌溉条件下不同微生物菌肥施用量(F1:45 kg/hm²; F2:75 kg/hm²; F3:105 kg/hm²; F0:0 kg/hm²)的田间试验。[结果] 随微生物菌肥施用量增加,土壤盐离子质量分数降低,相较F0, F3处理土壤Na⁺、K⁺、Cl⁻在全生育期降幅最显著($p<0.05$),平均分别降低49.22%、40.20%、47.80%。随微生物菌肥的增加,枸杞株高、地径、冠幅和新枝生长速率显著增高($p<0.05$),其中F2处理最高。在生长敏感期(开花期)F2处理株高的生长速率较F0提高3.27%;株高、冠幅和新枝的生长速率均在春梢生长期达到峰值,而地径的生长速率在果实膨大期达到峰值。F2处理时枸杞产量较F0提高46.33%($p<0.05$),肥料偏生产力达0.61 kg/kg。相关性分析表明,土壤Na⁺、K⁺和Cl⁻质量分数与枸杞生长指标呈负相关。[结论] 以改善土壤环境并促进枸杞生长为目标,河套灌区微咸水灌溉条件下盐碱土种植枸杞适宜的微生物菌肥施用量推荐75~105 kg/hm²。

关键词: 微咸水灌溉; 微生物菌肥; 土壤盐离子; 枸杞

中图分类号:S156.4;S144.1

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2025)02-0001-07

Effect of Microbial Fertiliser on Salt Ions Content and Growth of *Lycium barbarum* in Saline Soil under Brackish Water Irrigation

ZHAI Jie¹, YANG Shuqing¹, LIU Yue², CHEN Yu¹

(1.College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

2.Faculty of Agriculture and Animal Husbandry, Tongliao Vocational College, Tongliao, Inner Mongolia 028000, China)

Abstract: [Objective] To investigate the effects of microbial fertilizer application under brackish water irrigation on salt ion content in saline soil and on the growth of *Lycium barbarum*, as well as to elucidate the relationship between soil salt ions and *Lycium barbarum* growth indices. [Methods] A series of field experiments were conducted on moderately saline soils in the Hetao Irrigation Area. Four different application rates of microbial fertilizer were tested under brackish water irrigation conditions: F1 (45 kg/hm²), F2 (75 kg/hm²), F3 (105 kg/hm²), and F0 (0 kg/hm², as control). [Results] Soil salt ion levels declined with increased microbial fertilizer application. Notably, compared to F0, the F3 treatment significantly reduced Na⁺, K⁺, and Cl⁻ levels by 49.22%, 40.20%, and 47.80%, respectively, throughout the reproductive period ($p<0.05$). Additionally, plant height, ground diameter, canopy width, and new branch growth rate in LBP significantly increased with higher microbial fertilizer levels ($p<0.05$), with the F2 treatment yielding the greatest improvements. During the flowering stage—a period highly sensitive to growth—the plant height growth rate in F2 exceeded that of F0 by 3.27%. In the spring growth period, the growth rates of plant height, canopy width, and new branches all peaked, while the growth rate of ground diameter reached its highest in the fruit expansion stage. The *Lycium barbarum* yield in the F2 treatment

收稿日期:2024-10-09

修回日期:2024-11-06

录用日期:2024-11-15

网络首发日期(www.cnki.net):2024-00-00

资助项目:国家自然科学基金项目(52069023,52179037)

第一作者:翟杰(2001—),男,硕士研究生,主要从事农业水土资源利用与水土环境调控研究。E-mail:zhaijie0105@163.com

通信作者:杨树青(1966—),女,教授,博士生导师,主要从事农业水土资源利用与水土环境调控研究。E-mail:nmndysq@126.com

http://stbcb.alljournal.com.cn

was 46.33% higher than that in F0 ($p < 0.05$), with a fertilizer partial productivity of 0.61 kg/kg. Correlation analysis indicated a negative relationship between soil Na^+ , K^+ , and Cl^- concentrations and *Lycium barbarum* growth parameters. [Conclusion] In summary, to optimize soil conditions and promote *Lycium barbarum* growth in saline soils under brackish water irrigation in the Hetao Irrigation District, a microbial fertilizer application rate of 75~105 kg/hm² is recommended.

Keywords: brackish water irrigation; microbiological fertiliser; soil salt ion; *Lycium barbarum*

Received: 2024-10-09

Revised: 2024-11-06

Accepted: 2024-11-15

Online(www.cnki.net): 2024-00-00

河套灌区是我国重要的粮食生产基地,其粮食生产稳定对于我国的粮食安全具有重要战略意义。受灌区引黄指标大幅减少^[1],灌区淡水资源愈发紧缺,尤其是下游地区经常无法得到及时灌溉,但河套灌区具有丰富的微咸水资源^[2],合理利用微咸水是缓解淡水资源紧缺的手段之一。但微咸水灌溉可增加土壤盐分,导致土壤板结^[3],影响作物生长^[4],而微生物菌肥可有效改善土壤板结等环境问题,促进植物生长发育^[5]。土壤体积质量随微生物菌肥施用量的增加而下降^[6],还可改善土壤营养状况^[7],提高土壤有机质、有效钾及有效磷质量分数^[8]。微生物菌肥可显著降低盐渍土 pH 和总盐质量分数^[9-10]。微生物菌肥中的有益微生物促进土壤有机质的分解,释放养分,为作物生长提供营养物质^[11]。微生物菌肥可增加番茄、玉米的茎粗及株高^[12-13],提高黄瓜和水稻的产量,其中水稻产量较化肥处理提高 1.25 倍^[14-15]。微咸水灌溉下盐渍化土壤施加微生物菌肥对土盐离子及枸杞生长的研究相对较少,而枸杞作为河套灌区特色经济作物,具有较高的经济和生态价值。因此,探索微咸水灌溉下施加微生物菌肥对土壤盐离子和枸杞生长影响具有重要的现实意义。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验于 2022 年在内蒙古河套灌区下游三湖河灌域的红卫试验基地(108°45'~109°36'E, 40°30'~40°40'N)展开。研究区属中温带大陆性多风干旱气候,年平均降水量 270 mm,蒸发量 2 383 mm,气温 7.9 °C,无霜期 146 d,积温(≥ 10 °C)3 200 °C。研究区土壤为中度盐碱土,pH 为 7.7,EC 为 1.25 mS/cm,田间持水量为 30.26%。灌溉微咸水矿化度为 3.84 g/L,全盐量为 3 840 mg/L,电导率为 4.53 mS/cm,pH 为 8.27。

1.2 试验设计

试验设 4 个水平微生物菌肥 F0(0 kg/hm²)、F1(45 kg/hm²)、F2(75 kg/hm²)、F3(105 kg/hm²),每处理 3 次重复。小区规格为 2 m×10 m,行间设保

护带,小区之间用 120 cm 隔水板做地下防渗隔离。微生物菌肥来自山东土秀才生物科技有限公司的不二菌碳。基于本团队多年微咸水田间灌溉试验,本研究采取畦田灌溉方式,在生育期内每个处理灌 3 次微咸水,每次灌水量 80 mm,灌水日期分别为 5 月 15 日、7 月 9 日和 7 月 27 日,其他条件与当地农业措施保持一致。参照地方标准^[16]在 5 月一次性施入基肥,氮、磷、钾量分别为 375、300、225 kg/hm²,无追肥。指示作物为“宁杞 9 号”,树龄 6 a,栽培密度为 1 m×1 m。

1.3 指标的测定

1.3.1 枸杞生长指标测定 本试验在枸杞各生育期(萌芽期、春梢生长期、开花期、果实膨大期、盛果期)对其生理指标进行定株观测,每处理选择长势相近的 3 颗作为观测株,观测株在整个生育期未进行人为处理。主要观测指标为:1)株高:树体萌芽前期修剪后用钢卷尺测株高,此后,每月中旬测 1 次,截止果实采收结束;2)地径:树体萌芽前期修剪后用钢卷尺测地径粗度,此后,每月中旬测 1 次,截止果实采收结束;3)新枝生长量:在植株东、南、西、北 4 个方位各选取 1 个新枝,每隔 7 d,用钢卷尺测新枝的生长量;4)冠幅:树体萌芽前期修剪后用钢卷尺测冠幅,此后,每月中旬测 1 次,截止果实采收结束。

1.3.2 枸杞产量测定 在枸杞收获期,每小区随机选取 5 颗长势相近且有代表性的枸杞树进行测产,测量枸杞果实的横径和纵径,并折算单位面积产量。

1.3.3 土壤盐离子及土壤性质测定 在枸杞灌水前后用土钻取样(遇雨则雨后加测 1 次),取 4 层土。在枸杞主根区(0~40 cm)加密取样,具体取土深度为 0~10、10~20、20~30、30~40、40~60 cm。根据《LY/T 1251—1999 森林土壤水溶性盐分分析》^[17]测定土壤 8 大离子质量分数(Na^+ + K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 HCO_3^-),使用火焰分光光度计测定土壤中 Na^+ 和 K^+ 质量分数。同时,在取土样时,用环刀法测定各层的田间持水率(质量含水率)。

1.3.4 肥料偏生产力 肥料偏生产力(partial factor productivity of fertilizer, PFPF)采用枸杞产量与微生物菌肥施肥量的比值计算:

$$S_{PFPF} = Y/F \quad (1)$$

式中: S_{PFPF} 为PFPF,kg/kg; Y 为枸杞产量,kg/hm²; F 为微生物菌肥施肥量,kg/hm²。

1.4 统计分析方法

试验数据采用Excel 2019进行数据整理;运用SPSS 26.0软件对数据进行方差分析,采用最小显著差异法(LSD)进行显著性检验($p < 0.05$);使用Origin 2018软件制图;使用R4.3.3的corrplot、ggpubr和ggplot2进行相关性分析及绘图。

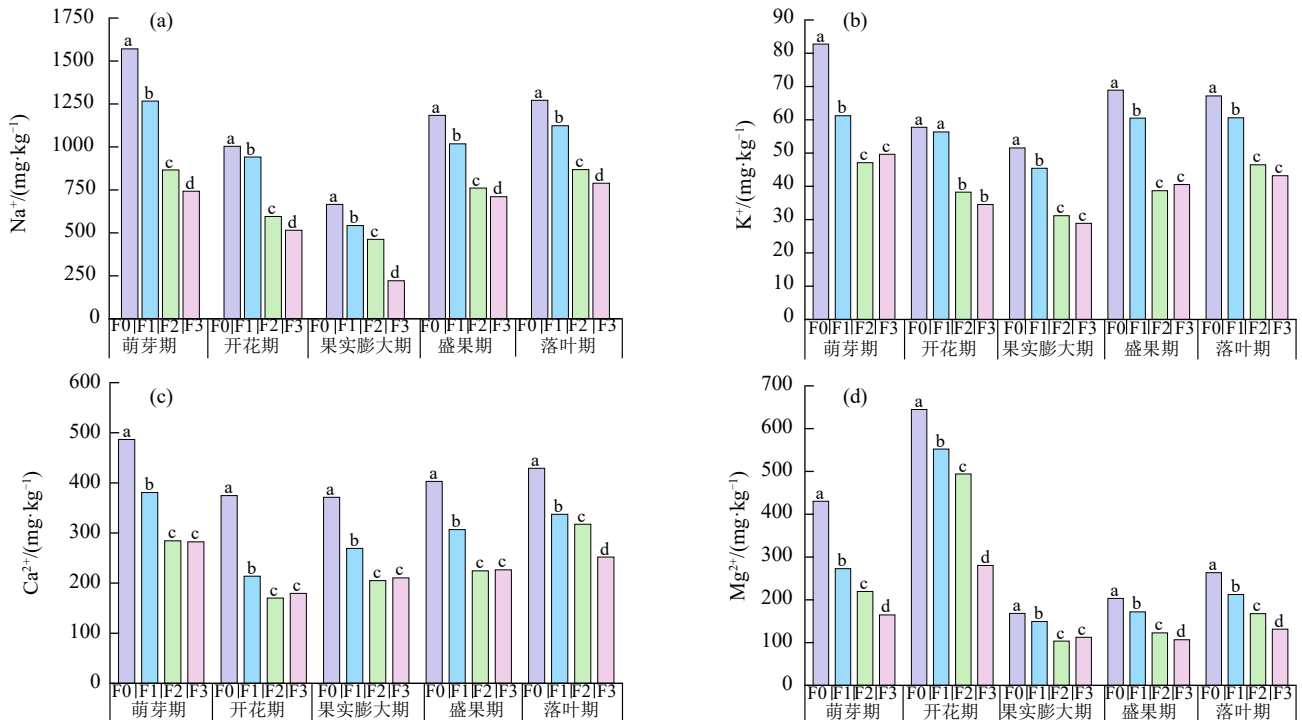


图1 不同微生物菌肥施用量下水溶性阳离子变化

Fig. 1 Changes in water-soluble cation content under different microbial fertiliser application rates

2.1.2 不同微生物菌肥施用量对水溶性阴离子的影响 从图2可以看出,在全生育期内,土壤阴离子质量分数随微生物菌肥施用量的增加呈下降趋势。相较F0,F3处理土壤Cl⁻在整个生育期降幅最显著($p < 0.05$),平均降幅为47.80%。F2和F3处理显著降低全生育期的土壤SO₄²⁻,比F0平均降低34.46%和40.18%。相较F0,F1和F2显著降低开花期和果实膨大期的土壤HCO₃⁻($p < 0.05$),降幅为10.68%~34.71%,F3显著降低全生育期土壤HCO₃⁻,平均降低20.97%。

2.2 不同微生物菌肥施用量对枸杞的影响

2.2.1 不同微生物菌肥施用量对枸杞生长的影响 由表1可知,全生育期内,随微生物菌肥的增加枸杞

2 结果与分析

2.1 不同微生物菌肥施用量对土壤盐离子的影响

2.1.1 不同微生物菌肥施用量对土壤水溶性阳离子的影响 从图1可以看出,随微生物菌肥施用量增加,土壤阳离子质量分数降低。F3处理土壤Na⁺在全生育期的降幅最显著($p < 0.05$),比F0平均降低49.22%。F2和F3处理显著降低全生育期土壤K⁺($p < 0.05$),比F0平均降低36.70%和40.20%,且2个处理间无显著性($p > 0.05$)。在落叶期,土壤Ca²⁺在F2和F3处理有显著差异($p < 0.05$),F3处理较F2降低20.62%。开花期F0、F1、F2和F3处理土壤Mg²⁺比萌芽期分别增加49.32%、102.41%、125.08%和70.32%。

各生长指标的生长速率显著增高($p < 0.05$),其中F2处理最高。在生长敏感期(开花期)F2处理株高的生长速率较F0、F1、F3分别提高3.27%、2.61%和1.18%。各生长速率在不同生育期差异显著。株高、冠幅和新枝的生长速率均在春梢生长期达到峰值,而地径的生长速率在果实膨大期达到峰值,与春梢生长期相比,增幅分别为26.35%(F0)、24.49%(F1)、18.18%(F2)和17.92%(F3)。

2.2.2 不同微生物菌肥施用量对枸杞产量及肥料偏生产力的影响 从图3可以看出,各处理(F1、F2和F3)较未施加微生物肥处理(F0)分别显著增加7.17%、46.33%和18.02%($p < 0.05$),其中F2产量最

高(4 599.24 kg/hm²)。F1处理的肥料偏生产力较F2和F3处理分别提高22.07%和111.87%。结果表明,在盐碱土灌溉微咸水下施加微生物菌肥有利于提高枸杞产量,但微生物菌肥过高(F3)时增产效果减弱。

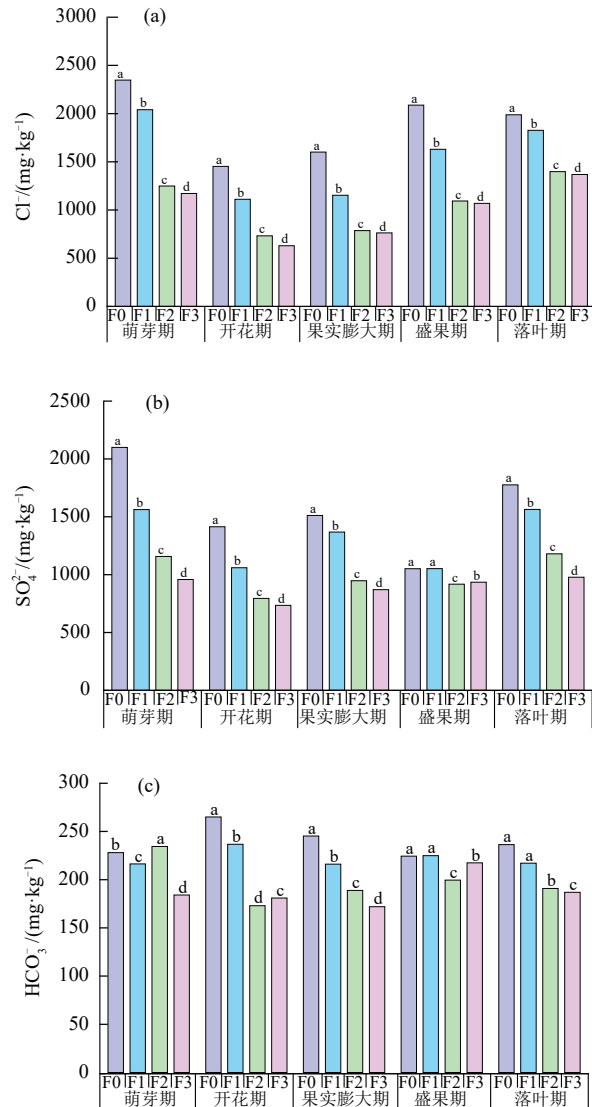


图2 不同微生物菌肥施用量下水溶性阴离子变化

Fig. 2 Changes in water-soluble anion content under different microbial fertilizer application rates

2.3 土壤盐离子与枸杞生长指标的相关性

从图4可以看出,土壤水溶性Na⁺、K⁺和Cl⁻为直接影响枸杞生长指标的主要盐离子。土壤水溶性Na⁺与株高、地径、冠幅和新枝的生长速率呈负相关,相关系数分别为-0.84、-0.70、-0.79和-0.85。土壤水溶性K⁺与株高、冠幅和新枝的生长速率均呈负相关(*r*分别为-0.61、0.60和-0.68)。由于土壤中过量的Na⁺抑制根系细胞对K⁺的吸收与利用^[18],使枸杞体内K⁺/Na⁺失衡,导致枸杞体内代谢活动受到干扰,最终影响枸杞的正常生长发育。盐碱土中高浓度的Na⁺降低细胞对K⁺的吸收^[19],而K⁺过低则抑

制植物生长^[20]。土壤水溶性Cl⁻与株高、冠幅和新枝的负相关系数分别为-0.58、-0.60和-0.62。土壤中Cl⁻过高会毒害抑制生长^[21],使土壤中来自作物的有机物质输入量减少。施用微生物菌肥可以降低土壤Na⁺、Cl⁻,增强细胞对K⁺的吸收,从而维持较高的K⁺/Na⁺比值,增强植物适应盐碱逆境的能力,保证枸杞正常生长。

表1 不同微生物菌肥施用量下枸杞生长指标生长速率

Table.1 Growth rate of *Lycium barbarum* growth indicators under different microbial fertilizer application rates

| 生育期 | 处理 | 株高/ (cm·d ⁻¹) | 地径/ (mm·d ⁻¹) | 冠幅/ (cm·d ⁻¹) | 新枝/ (cm·d ⁻¹) |
|-------|----|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 萌芽期 | F0 | 0.123d | 0.039d | 0.083d | 0.433d |
| | F1 | 0.125c | 0.043b | 0.093c | 0.449c |
| | F2 | 0.134a | 0.045a | 0.100a | 0.473a |
| | F3 | 0.131b | 0.041c | 0.098b | 0.464b |
| 春梢生长期 | F0 | 0.346d | 0.047d | 0.458d | 0.579d |
| | F1 | 0.358c | 0.049c | 0.487c | 0.590c |
| | F2 | 0.367a | 0.055a | 0.528a | 0.613a |
| 开花期 | F0 | 0.237d | 0.036d | 0.349d | 0.356d |
| | F1 | 0.239c | 0.038c | 0.359c | 0.367c |
| | F2 | 0.245a | 0.043a | 0.388a | 0.395a |
| 果实膨大期 | F0 | 0.242b | 0.040b | 0.379b | 0.371b |
| | F1 | 0.134c | 0.059d | 0.210d | 0.257d |
| | F2 | 0.135c | 0.061c | 0.242c | 0.269c |
| 盛果期 | F0 | 0.144a | 0.065a | 0.273a | 0.286a |
| | F1 | 0.141b | 0.063b | 0.256b | 0.273b |
| | F2 | 0.071d | 0.021c | 0.128d | 0.149d |
| 落叶期 | F0 | 0.073c | 0.023b | 0.134c | 0.159c |
| | F1 | 0.078a | 0.026a | 0.161a | 0.182a |
| | F2 | 0.075b | 0.024b | 0.152b | 0.175b |

注:同列不同字母表示不同生育期差异显著($p < 0.05$)。

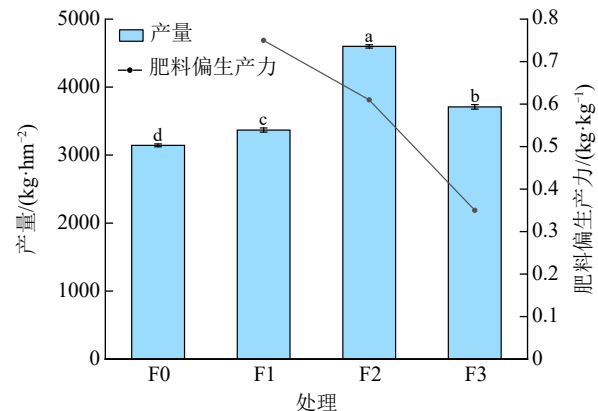
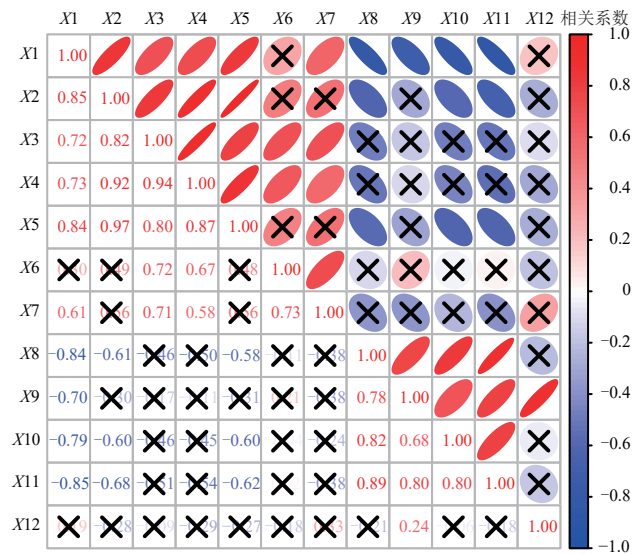


图3 不同微生物菌肥施用量下的枸杞产量及肥料偏生产力

Fig. 3 Yield and fertilizer bias productivity of *Lycium barbarum* under different microbial fertilizer application rates



注: X1 为土壤水溶性 Na⁺; X2 为土壤水溶性 K⁺; X3 为土壤水溶性 Ca²⁺; X4 为土壤水溶性 Mg²⁺; X5 为土壤水溶性 Cl⁻; X6 为土壤水溶性 SO₄²⁻; X7 为土壤水溶性 HCO₃⁻; X8 为株高生长速率; X9 为地径生长速率; X10 为冠幅生长速率; X11 为新枝生长速率; X12 为产量; 数值表示不同指标之间的 Pearson 相关性; × 表示不显著相关; 色柱中红色表示正相关, 蓝色表示负相关, 颜色越深相关性越强; 椭圆向右上方倾斜表示正相关, 向右下方倾斜表示负相关, 椭圆的长宽比越大, 相关性越强。

图 4 枸杞生长指标与土壤盐离子的相关性

Fig. 4 Correlation between growth indicators and soil salt ions in *Lycium barbarum*

综上, 由于土壤 Na⁺、K⁺ 和 Cl⁻ 是影响枸杞生长的主要因素, 地径对产量起促进作用。因此, 建立微咸水灌溉下不同微生物菌肥施用量与土壤 Na⁺、K⁺ 和 Cl⁻ 及枸杞地径之间的关系, 对其进行可视化分析 (图 5) 可知, 微生物菌肥施用量为 75~105 kg/hm², 土壤盐离子质量分数较低, 地径生长速率较高, 产量较高, 故推荐微生物菌肥施用量为 75~105 kg/hm²。

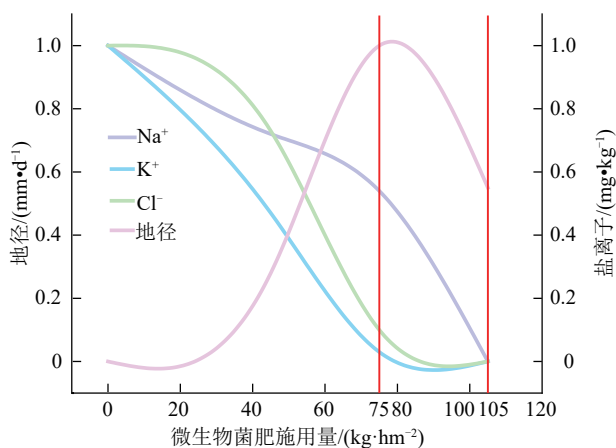


图 5 微生物菌肥施用量与主要因子的关系

Fig. 5 Relationship between microbial fertiliser application and major factors

3 讨论

土壤可溶性盐离子构成及其质量是盐渍化治理的重要依据^[22]。研究^[23]发现, 由于微生物菌肥中的腐殖酸与 Na⁺ 形成络合物, 显著降低根层 Na⁺ 质量分数, 与叶静等^[24]的研究结果一致。本研究显示, 土壤中 Ca²⁺ 与微生物菌肥施用量呈反比, 而冯玉倩等^[25]发现, 单施微生物菌肥土壤 Ca²⁺ 增加, 是由于无灌水造成。本研究中土壤 Mg²⁺ 在开花期达到峰值, 是由于微生物菌肥促进镁盐的溶解^[26], 使土壤 Mg²⁺ 质量分数增加。柴晓彤等^[27]研究认为, 有机肥和 JFB 菌剂对土壤 SO₄²⁻ 和 Cl⁻ 的影响相反, 土壤 Cl⁻ 下降时 SO₄²⁻ 增加, 而本研究在不二碳菌肥施用下土壤 Cl⁻ 和 SO₄²⁻ 均呈下降趋势。本研究还发现, F2 和 F3 处理在开花期至落叶期的 HCO₃⁻ 显著低于 F0 和 F1 处理 (p < 0.05), 说明在微生物菌肥施用量较大时降低根层 HCO₃⁻。

微生物菌肥调节土壤微生物群落组成, 改良土壤结构和理化性质, 为枸杞生长提供良好环境^[28]。本研究表明, 微生物菌肥处理各项指标的生长速率均高于无菌肥处理, 与相关学者^[29-30]关于微生物菌肥对不同作物的研究结果一致, 是由于微生物菌肥能有效活化土壤中的营养元素^[31], 使枸杞生长过程中有充分的营养供给。随微生物菌肥施用量的增加, 枸杞产量呈先增后减趋势, 由于微生物菌肥中的有益菌可分泌大量类似作物生长调节素的物质, 从而促进产量的提升^[32]。但微生物菌肥施加量不同引起土壤微生物多样性和相对丰度的变化, 影响养分供应能力, 使产量增幅呈先增后减趋势。

4 结论

1) 微生物菌肥施用量为 105 kg/hm² 时土壤 Na⁺、K⁺、Cl⁻ 在全生育期降幅最大, 分别为 49.22%、40.20%、47.80%。微生物菌肥施用量为 75 kg/hm² 时, 枸杞株高、地径、冠幅和新枝生长速率达到峰值, 分别为 0.194 cm/d、0.047 mm/d、0.289 cm/d、0.389 cm/d。同时枸杞产量和肥料偏生产效率较高, 分别为 4 599.24 kg/hm² 和 0.61 kg/kg。

2) 土壤水溶性 Na⁺、K⁺ 和 Cl⁻ 为影响枸杞生长指标生长速率的主要盐离子, 与枸杞各指标呈负相关。研究区微咸水灌溉条件下盐碱土种植枸杞适宜的微生物菌肥施用量为 75~105 kg/hm²。

参考文献:

[1] 姬祥祥, 张体彬, 朱晓华, 等. 河套灌区膜下滴灌研究进展[J]. 节水灌溉, 2019(1): 92-95.

Ji X X, Zhang T B, Zhu X H, et al. Advances in the

- study of mulched drip irrigation in Hetao irrigation district [J]. *Water Saving Irrigation*, 2019(1):92-95.
- [2] 李金刚, 屈忠义, 黄永平, 等. 微咸水膜下滴灌不同灌水下限对盐碱地土壤水盐运移及玉米产量的影响[J]. *水土保持学报*, 2017, 31(1):217-223.
LI J G, QU Z Y, HUANG Y P, et al. Effects of control lower limit of saline water mulched drip irrigation on water salt movement and corn yield in saline soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2017, 31(1):217-223.
- [3] 张丹丹, 郑向群, 李厚禹, 等. 含盐农村生活污水灌溉对土壤微生物的影响[J]. *环境科学研究*, 2022, 35(8):1873-1884.
ZHANG D D, ZHENG X Q, LI H Y, et al. Effects of rural domestic sewage irrigation with different salinity on soil microorganisms[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2022, 35(8):1873-1884.
- [4] AYARS J E, CHRISTEN E W, HORNBUCKLE J W. Controlled drainage for improved water management in arid regions irrigated agriculture [J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 86(1/2):128-139.
- [5] AGGANGAN N, ANARNA J. Microbial biofertilizers and soil amendments enhanced tree growth and survival in a barren mined-out area in Marinduque, Philippines [J]. *Journal of Environmental Science and Management*, 2019, 22(2):77-88.
- [6] 武杞蔓, 张金梅, 李玥莹, 等. 有益微生物菌肥对农作物的作用机制研究进展[J]. *生物技术通报*, 2021, 37(5):221-230.
WU Q M, ZHANG J M, LI Y Y, et al. Recent advances on the mechanism of beneficial microbial fertilizers in crops [J]. *Biotechnology Bulletin*, 2021, 37(5):221-230.
- [7] HOU J W, XING C F, ZHANG J, et al. Increase in potato yield by the combined application of biochar and organic fertilizer: Key role of rhizosphere microbial diversity[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2024, 15:e1389864.
- [8] 祝英, 彭轶楠, 巩晓芳, 等. 不同微生物菌剂对当归苗生长及根际土微生物和养分的影响[J]. *应用与环境生物学报*, 2017, 23(3):511-519.
ZHU Y, PENG Y N, GONG X F, et al. Effects of different microbial agents on growth of *Angelica sinensis* and microorganism population and nutrients of rhizosphere soil[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2017, 23(3):511-519.
- [9] 王丹, 赵亚光, 马蕊, 等. 微生物菌肥对盐碱地枸杞土壤改良及细菌群落的影响[J]. *农业生物技术学报*, 2020, 28(8):1499-1510.
WANG D, ZHAO Y G, MA R, et al. Effects of microbial fertilizers on soil improvement and bacterial communities in saline-alkali soils of lycium barbarum [J]. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2020, 28(8):1499-1510.
- [10] 王启尧, 赵庚星, 赵永昶, 等. 滨海盐渍棉田施用微生物菌肥的降盐效果及棉花长势响应[J]. *华北农学报*, 2021, 36(S1):267-274.
WANG Q Y, ZHAO G X, ZHAO Y C, et al. Effects of microbial fertilizer on salt reduction and cotton growth response in coastal salted cotton field [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2021, 36(S1):267-274.
- [11] BAI Y N, FENG P Y, CHEN W F, et al. Effect of three microbial fertilizer carriers on water infiltration and evaporation, microbial community and alfalfa growth in saline-alkaline soil [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2021, 52(20):2462-2470.
- [12] 王丽丽, 朱诗君, 狄蕊, 等. 微生物菌肥菌剂对番茄生长发育和产量品质的影响[J]. *土壤与作物*, 2022, 11(1):88-95.
WANG L L, ZHU S J, DI R, et al. Effects of bio-organic fertilizer and microbial agent on the growth, yield and quality of tomato [J]. *Soils and Crops*, 2022, 11(1):88-95.
- [13] 李圆, 赵贵宾, 李城德, 等. 禾神元多效微生物菌肥对玉米生长发育和产量的影响[J]. *甘肃农业科技*, 2022, 53(4):75-78.
LI Y, ZHAO G B, LI C D, et al. Effects of multi-effect microbial fertilizer on growth and yield of maize [J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2022, 53(4):75-78.
- [14] 岳宏忠, 张东琴, 侯栋, 等. 微生物菌肥部分替代化肥对设施黄瓜产量和土壤细菌群落结构的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2022, 50(7):118-126.
YUE H Z, ZHANG D Q, HOU D, et al. Effects of partial substitution of chemical fertilizer by microbial fertilizer on yield of cucumber and soil bacterial community structure in greenhouse [J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2022, 50(7):118-126.
- [15] 许立阳, 王亚男, 曾希柏, 等. 微生物菌肥对瘠薄稻田土壤养分及水稻生长的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2024, 43(10):2350-2362.
XU L Y, WANG Y N, ZENG X B, et al. Microbial fertilizer effects on soil nutrients and rice growth in barren paddy fields [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2024, 43(10):2350-2362.
- [16] 内蒙古自治区质量技术监督局. 盐碱土壤枸杞咸淡水轮灌技术规程: DB15/T 1018—2016[S]. 呼和浩特: 内蒙古自治区质量技术监督局, 2016.
Inner Mongolia Autonomous Region Quality and Technical Supervision Bureau. Technical regulations of alternation irrigation using salt-freshwater regarding wolfberry cultivated in salinealkali soil: DB15/T 1018—2016 [S]. Hohhot: Inner Mongolia Autonomous Region Quality

- and Technical Supervision Bureau, 2016.
- [17] 国家林业局. 森林土壤水溶性盐分分析: LY/T 1251—1999[S]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- State Forestry Administration. Analysis methods of water soluble salts of forest soil: LY/T 1251—1999[S]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1999.
- [18] 郭欢. 盐囊泡类泌盐植物四翅滨藜响应 NaCl 的分子基础研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2020.
- GUO H. Molecular basis of the response of *Atriplex quadripartita*, a salt-secreting plant in salt vesicles, to NaCl[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2020.
- [19] ZHANG J P, LI K J, ZHENG C L, et al. Cotton responses to saline water irrigation in the low plain around the Bohai Sea in China [J]. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2018, 144(9): e04018027.
- [20] 付媛媛, 江晓慧, 申孝军, 等. 盐胁迫下棉花幼苗叶片 K^+ 、 Na^+ 含量与光合参数的关系[J]. *生态学杂志*, 2021, 40(6): 1716-1722.
- FU Y Y, JIANG X H, SHEN X J, et al. The relationship between foliar K^+ and Na^+ concentrations and photosynthetic parameters of cotton seedlings under salt stress [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2021, 40(6): 1716-1722.
- [21] 郭全恩. 土壤盐分离子迁移及其分异规律对环境因素的响应机制[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- GUO Q E. Response mechanism of soil salt ion migration and its differentiation to environmental factors [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2010.
- [22] 张作为, 李宏宇, 付强, 等. 化肥有机肥配施对河套灌区土壤盐分及玉米水肥利用的影响[J]. *应用基础与工程科学学报*, 2023, 31(5): 1170-1182.
- ZHANG Z W, LI H Y, FU Q, et al. Effects of combined application of chemical and organic fertilizers on soil salinity and corn water and fertilizer utilization in Hetao irrigation district [J]. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2023, 31(5): 1170-1182.
- [23] 姚强, 宫志远, 辛寒晓, 等. 盐碱地改良肥配方优化及对滨海旱作夏玉米的影响[J]. *农学学报*, 2020, 10(11): 43-47.
- YAO Q, GONG Z Y, XIN H X, et al. Optimization of improved fertilizer formula for saline-alkali land and its influence on coastal dryland summer maize [J]. *Journal of Agriculture*, 2020, 10(11): 43-47.
- [24] 叶静, 陈影, 屈爽, 等. 不同微生物菌肥对滨海盐渍土土壤质量及玉米产量的影响[J]. *环境科学*, 2024, 45(7): 4279-4292.
- YE J, CHEN Y, QU S, et al. Effects of different microbial fertilizers on soil quality and maize yield in coastal saline soil [J]. *Environmental Science*, 2024, 45(7): 4279-4292.
- [25] 冯玉倩, 米俊珍, 赵宝平, 等. 秸秆配施微生物菌肥对盐碱地土壤及作物盐分含量的影响[J]. *华北农学报*, 2023, 38(6): 101-107.
- FENG Y Q, MI J Z, ZHAO B P, et al. Effect of straw combined with microbial fertilizer on salt content of soil and crops in saline alkali land [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2023, 38(6): 101-107.
- [26] CHENG Y Y, NARAYANAN M, SHI X J, et al. Phosphate-solubilizing bacteria: Their agroecological function and optimistic application for enhancing agro-productivity [J]. *Science of the Total Environment*, 2023, 901: e166468.
- [27] 柴晓彤, 顾金凤, 毛亮, 等. 微生物菌肥对盐渍化土壤中盐分离子及有机质含量的影响[J]. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2017, 35(1): 78-84.
- CHAI X T, GU J F, MAO L, et al. Effects of microbial fertilizer on contents of salt ions and organic matter in saline soil [J]. *Journal of Shanghai Jiao Tong University (Agricultural Science)*, 2017, 35(1): 78-84.
- [28] 王佳, 李明聪. 微生物菌肥在植物减肥增效中的应用研究进展: 以果树为例[J/OL]. *微生物学通报*, 1-22 [2024-08-12]. <https://doi.org/10.13344/j.microbiol.china.240177>.
- WANG J, LI M C. Research progress in the application of microbial fertilizers in chemical fertilizer reduction and efficiency increase in orcharding [J/OL]. 1-22 [2024-08-12]. <https://doi.org/10.13344/j.microbiol.china.240177>.
- [29] 高意帆, 陈银银, 温涛, 等. 微生物菌肥拌种对大豆花生增产效应的影响[J]. *核农学报*, 2024, 38(5): 955-967.
- GAO Y F, CHEN Y Y, WEN T, et al. Effects of seed dressing with microbial fertilizer on yield increase of soybean and peanut [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2024, 38(5): 955-967.
- [30] 张德林, 余星语, 喻文, 等. 3种微生物菌肥对川芎生长发育、产质量和镉富集的影响[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2022, 28(5): 124-132.
- ZHANG D L, YU X Y, YU W, et al. Effect of three microbial fertilizers on growth, yield, quality and cadmium accumulation of *Chuanxiong rhizoma* [J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2022, 28(5): 124-132.
- [31] 马阳, 郑卫红, 张培, 等. 不同调控措施对甜瓜土壤性质、细菌多样性和产量的影响[J]. *河北农业大学学报*, 2022, 45(1): 48-54.
- MA Y, ZHENG W H, ZHANG P, et al. Effects of different control measures on soil properties, bacterial diversity and yield of muskmelon [J]. *Journal of Hebei Agricultural University*, 2022, 45(1): 48-54.
- [32] ROSTAMI S, AZHDARPOOR A. The application of plant growth regulators to improve phytoremediation of contaminated soils: A review [J]. *Chemosphere*, 2019, 220: 818-827.