

分类号：
学 号：20222110008

密 级：公开
单位代码：10759

石河子大学

硕 士 学 位 论 文



皮墨垦区滴灌玉米腐殖酸配施技术研究

学 位 申 请 人	张泽华
指 导 教 师	叶含春 教授 王恒 高级工程师
申 请 学 位 类 别	专业硕士
专 业 名 称	土木水利
研 究 领 域	农田水土工程
所 在 学 院	水利建筑工程学院

中国·新疆·石河子
2025年05月

分类号：
学 号：20222110008

密 级：公开
单位代码：10759

石河子大学

硕 士 学 位 论 文



皮墨垦区滴灌玉米腐殖酸配施技术研究

学 位 申 请 人	张泽华
指 导 教 师	叶含春 教授 王恒 高级工程师
申 请 学 位 类 别	专业硕士
专 业 名 称	土木水利
研 究 领 域	农田水土工程
所 在 学 院	水利建筑工程学院

中国·新疆·石河子

2025年05月

**Study on the combined application technology of drip irrigation corn
humic acid in Pimo reclamation area**

A Dissertation Submitted to

Shihezi University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Civil and Hydraulic Engineering

By

Zhang Ze-hua

(Agricultural water and soil Engineering)

Dissertation Supervisor: Prof. Ye Han-chun

May,2025

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明

本人所提交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：张泽华

时间：2025年5月18日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：张泽华

时间：2025年5月18日

导师签名：叶会春

时间：2025年5月18日

摘要

目的: 针对土壤肥力不足及过量灌溉而导致玉米水氮利用效率与产量低下问题, 本文开展两年大田试验, 探究腐殖酸施加量与灌溉定额协同调控对膜下滴灌玉米生长、产量及水氮利用效率的影响, 探究最佳的灌溉方案, 为膜下滴灌玉米水肥协同调控提供科学、合理、可靠的灌溉技术依据。

方法: 本文以南疆膜下滴灌玉米为研究对象, 试验设计为腐殖酸施加量和灌溉定额 2 个因素完全随机组合进行大田小区试验研究。设置 4 个腐殖酸施加量: $0 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (T0), $15 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (T1), $30 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (T2), $45 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (T3) 和 3 个灌溉定额: $6600 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (W1), $7200 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (W2), $7800 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (W3)。共设置 12 个处理, 3 次重复, 设定 T0W3 为对照组。

结果: (1) 土壤含水率随着土层深度的增加呈现为递增的趋势。结合两年数据可知, 当腐殖酸施加量一定时, 随着灌溉定额的增加, 土壤平均含水率不断增加, W2、W3 水平土壤含水率均大于 W1, 提高了 2.73%、6.48%; 当灌溉定额一定时, 土壤含水率随着腐殖酸施加量的增加呈现先增加后降低的现象, T2 水平下 0~40 cm 的土壤含水率较 T0 水平提高了 6.08%~10.76%。适宜腐殖酸施加量会降低玉米耗水量, 且玉米耗水量与灌溉定额呈正相关。

(2) 增加灌溉定额会降低土壤硝态氮浓度。在不同处理下 0~60 cm 玉米土壤硝态氮累积随土层深度增加呈现先增加后降低的趋势。结合两年平均结果来看, 当腐殖酸施加量一定时, 0~60 cm 平均土壤硝态氮累积随着灌溉定额的增加而降低, W2、W3 水平下的土壤硝态氮累积较 W1 水平分别降低了 6.04%、12.14%。当灌溉定额一定时, 0~60 cm 平均土壤硝态氮累积随着腐殖酸的增加先增后减, T2 水平下的平均土壤硝态氮累积较 T0、T3 水平分别提高了 12.45%、21.60%。

(3) 玉米株高、茎粗、叶面积指数均随腐殖酸施加量的增加呈现先增加后降低的趋势, 随灌溉定额的增加而增加, 分别在 T1W3、T2W3 达到最大, 较 T0W3 (CK) 分别提高了 8.60%、10.89%、7.33%。净光合速率、蒸腾速率、气孔导度变化趋势表现为先升高后降低, 而胞间 CO_2 浓度呈现先降低后升高的趋势, 在 T2W3 处理下的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度较 T0W3 分别提高了 20.24%、12.66%、20.75%, 较胞间 CO_2 浓度降低了 5.64%。

(4) 腐殖酸施加量与灌溉定额在交互作用条件下, T2W3 处理的地上部生物量、氮素累积量达到最大, 较 T0W3 (CK) 处理提高了 7.70%、13.40%。同时, 增加腐殖酸施加量与灌溉定额均能提高玉米地上部生物量及氮素平均累积速率。W3 水平地上部生物量、氮素累积量较 W1 和 W2 水平分别提高了 1.52%~13.59%、2.94%~33.20%; T2 水平地上部生物量、氮素累积量较 T0 分别提高了 2.33%~7.70%、4.28%~13.40%。

(5) 玉米产量、穗长、穗粒数、千粒重均在 T2W3 处理下达到最值, 分别为 $8623.81 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、21.07 cm、551、414.85 g, 与 T2W2 处理未达到显著性差异, 较 T0W3 (CK) 分别提高了 18.87%、

14.50%、16.37%、16.30%。 WUE 和 $IWUE$ 两年数据均在 T2W2 处理下达到最大，较 T0W3 (CK) 提高了 31.28%、28.04%。氮素利用效率随着灌溉定额的增加先增加后减小，而氮素吸收效率随着灌溉定额的增加而增加，较未施加腐殖酸的处理分别提高 13.51%~7.72%、4.28%~13.40%。

(6) 通过主成分分析，对 11 个相关指标进行综合评价，腐殖酸施加量不同时，玉米综合评价得分为 T2>T3>T1，过高、过低的腐殖酸施加量均不利于玉米综合得分，不同的灌溉水平下，W2 水平的综合得分最高，W3 次之，W1 综合得分最低，评价结果表明 2023 年和 2024 年，腐殖酸施加量 $30 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、灌溉定额 $7200 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 组合为本研究中最优处理。

结论：施加腐殖酸能够有效改善玉米土壤根区水分、养分供应条件，同时在适宜的灌溉定额下可以促进玉米生长发育，提高产量，在一定程度上弥补了因土壤肥力低下所导致的产量损失。本试验综合考虑，选取玉米产量、生长指标、经济效益和水氮利用等 11 个指标，采用主成分分析进行筛选和评估，研究认为，腐殖酸施加量 $30 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、灌溉定额 $7200 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ ，能够在提高玉米产量的同时实现节水高效目标，兼顾了农业生产的经济效益，为膜下滴灌玉米水肥一体技术应用提供理论依据。

关键词：腐殖酸；灌溉定额；滴灌玉米；产量；水氮利用

Abstract

Object: Aiming at the problem of low water and nitrogen use efficiency and insufficient yield of maize caused by insufficient soil fertility and excessive irrigation, this thesis carried out a two-year field experiment to explore the effect of synergistic regulation of humic acid application amount and irrigation quota on the growth, yield and water and nitrogen use efficiency of maize under mulched drip irrigation, and to explore the best irrigation scheme. It provides a scientific, reasonable and reliable irrigation technical basis for the synergistic regulation of water and fertilizer of maize under mulched drip irrigation.

Methods: In this thesis, corn under mulched drip irrigation in southern Xinjiang is taken as the research object. The experimental design is a completely random combination of two factors, humic acid application amount and irrigation quota, for field plot experiment research. Four humic acid application rates were set: $0 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (T0), $15 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (T1), $30 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (T2), $45 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (T3) and three irrigation quotas : $6600 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (W1), $7200 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (W2), $7800 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (W3). A total of 12 treatments were set up, 3 replicates, and T0W3 was set as the control group.

Results: (1) Soil moisture content showed an increasing trend with the increase of soil depth. Combined with the two-year data, it can be seen that when the amount of humic acid applied is constant, with the increase of irrigation quota, the average soil moisture content increases continuously, and the soil moisture content of W2 and W3 levels are greater than that of W1, increased by 2.73 %, 6.48 % ; when the irrigation quota was constant, the soil moisture content increased first and then decreased with the increase of humic acid application. The soil moisture content of 0 ~ 40 cm at T2 level was 6.08 % ~ 10.76 % higher than that at T0 level. The appropriate amount of humic acid will reduce the water consumption of corn, and the water consumption of corn is positively correlated with the irrigation quota.

(2) Increasing irrigation quota will reduce soil nitrate nitrogen concentration. Under different treatments, the accumulation of nitrate nitrogen in 0 ~ 60 cm maize soil increased first and then decreased with the increase of soil depth. Combined with the average results of two years, when the amount of humic acid was fixed, the average soil nitrate nitrogen accumulation in 0 ~ 60 cm decreased with the increase of irrigation quota, and the soil nitrate nitrogen accumulation under W2 and W3 levels decreased by 6.04 % and 12.14 % respectively compared with W1 level. When the irrigation quota was constant, the average soil nitrate nitrogen accumulation in 0-60 cm increased first and then decreased with the increase of humic acid. The average soil nitrate nitrogen accumulation at T2 level was 12.45 % and 21.60 % higher than that at T0 and T3 levels, respectively.

(3) The plant height, stem diameter and leaf area index of maize increased first and then decreased with the increase of humic acid application amount, and increased with the increase of irrigation quota,

reaching the maximum at T1W3 and T2W3, respectively, which was 8.60 %, 10.89 % and 7.33 % higher than that of T0W3 (CK). The net photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance increased first and then decreased, while the intercellular CO₂ concentration decreased first and then increased. The net photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance under T2W3 treatment increased by 20.24 %, 12.66 % and 20.75 % respectively compared with T0W3, and decreased by 5.64 % compared with intercellular CO₂ concentration.

(4) Under the interaction of humic acid application amount and irrigation quota, the aboveground biomass and nitrogen accumulation of T2W3 treatment reached the maximum, which was 7.70 % and 13.40 % higher than that of T0W3 (CK) treatment. At the same time, increasing the amount of humic acid application and irrigation quota can increase the aboveground biomass and average nitrogen accumulation rate of maize. The aboveground biomass and nitrogen accumulation of W3 were 1.52 % ~ 13.59 % and 2.94 % ~ 33.20 % higher than those of W1 and W2, respectively. The aboveground biomass and nitrogen accumulation of T2 increased by 2.33 % ~ 7.70 % and 4.28 % ~ 13.40 %, respectively, compared with T0.

(5) The yield, spike length, grain number per spike and 1000-grain weight of maize reached the highest values under T2W3 treatment, and the highest values were 8623.81 kg·hm⁻², 21.07 cm, 551, 414.85 g, respectively. There was no significant difference with T2W2 treatment, which was 18.87 %, 14.50 %, 16.37 % and 16.30 % higher than T0W3 (CK), respectively. The two-year data of WUE and IWUE reached the maximum under T2W2 treatment, which was 31.28 % and 28.04 % higher than that of T0W3 (CK). The nitrogen use efficiency increased first and then decreased with the increase of irrigation quota, while the nitrogen absorption efficiency increased with the increase of irrigation quota, which increased by 13.51 % ~ 7.72 % and 4.28 % ~ 13.40 % respectively compared with the treatment without humic acid.

(6) Through principal component analysis, a comprehensive evaluation of 11 related indicators was carried out. When the amount of humic acid applied was different, the comprehensive evaluation score of maize was T2 > T3 > T1. Too high or too low humic acid application amount was not conducive to the comprehensive score of maize. Under different irrigation levels, the comprehensive score of W2 level was the highest, W3 was the second, and W1 was the lowest. The evaluation results showed that in 2023 and 2024, the combination of humic acid application amount 30 kg·hm⁻² and irrigation quota 7200 m³·hm⁻² was the optimal treatment in this study.

Conclusion: The application of humic acid can effectively improve the water and nutrient supply conditions in the root zone of maize soil, and can promote the growth and development of maize under appropriate irrigation quota, increase the yield, and compensate for the yield loss caused by low soil fertility to a certain extent. In this experiment, 11 indexes such as maize yield, growth index, economic benefit, water and nitrogen utilization were selected, and principal component analysis was used to screen and evaluate. The results showed that the application amount of humic acid was 30 kg·hm⁻² and the

irrigation quota was $7200 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, which could improve the yield of maize while achieving the goal of water saving and high efficiency, taking into account the economic benefits of agricultural production, and providing theoretical basis for the application of water and fertilizer integration technology of maize under mulched drip irrigation.

Key words: Humic acid; Irrigation quota; Drip irrigation corn; Yield; Water and nitrogen utilizatio

目录

第1章 绪论.....	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.2 国内外研究现状.....	3
1.2.1 滴灌节水技术研究概况.....	3
1.2.2 腐殖酸对作物生长的影响.....	4
1.2.3 腐殖酸对作物产量及水氮分利用效率的影响.....	4
1.2.4 腐殖酸对土壤养分吸收的影响.....	5
1.3 拟解决关键问题.....	6
1.4 研究内容.....	6
1.5 技术路线.....	6
第2章 试验概况及方法.....	8
2.1 试验区概况.....	8
2.2 试验设计.....	8
2.3 测定项目与方法.....	10
2.3.1 土壤含水率.....	10
2.3.2 土壤养分.....	10
2.3.3 生长指标.....	10
2.3.4 光合指标.....	10
2.3.5 耗水量.....	11
2.3.6 水氮利用效率.....	11
2.3.7 玉米产量.....	12
2.3.8 经济效益.....	12
2.3.9 数据处理与分析.....	12
第3章 腐殖酸施加量与灌溉定额对滴灌玉米土壤水氮分布特征及变化的影响.....	13
3.1 腐殖酸施加量与灌溉定额对滴灌玉米土壤水分的影响.....	13
3.1.1 土壤质量含水率.....	13
3.1.2 土壤耗水量.....	15
3.2 腐殖酸施加量与灌溉定额对滴灌玉米土壤硝态氮分布特征的影响.....	15
3.2.1 土壤硝态氮分布.....	15
3.2.2 土壤硝态氮累积.....	17

3.3 讨论	18
3.4 小结	20
第4章 腐殖酸施加量与灌溉定额对滴灌玉米生理生长的影响	21
4.1 腐殖酸施加量与灌溉定额对滴灌玉米生长的影响	21
4.1.1 玉米株高	21
4.1.2 玉米茎粗	22
4.1.3 玉米叶面积指数	23
4.2 腐殖酸施加量与灌溉定额对滴灌玉米地上部生物量的影响	24
4.2.1 玉米地上部生物量累积	24
4.2.2 玉米地上部生物量累积速率	25
4.3 腐殖酸施加量与灌溉定额对滴灌玉米光合特性的影响	27
4.4 讨论	30
4.5 小结	31
第5章 腐殖酸施加量与灌溉定额对滴灌玉米氮素吸收的影响	32
5.1 腐殖酸施加量与灌溉定额对滴灌玉米各器官氮素吸收累积的影响	32
5.2 腐殖酸施加量与灌溉定额对滴灌玉米氮素转运的影响	33
5.3 腐殖酸施加量与灌溉定额对滴灌玉米氮素累积速率的影响	35
5.4 讨论	37
5.5 小结	38
第6章 腐殖酸施加量与灌溉定额对滴灌玉米产量及水氮利用的影响	39
6.1 腐殖酸施加量与灌溉定额对滴灌玉米产量及构成的影响	39
6.2 腐殖酸施加量与灌溉定额对滴灌玉米水氮利用的影响	41
6.3 腐殖酸施加量与灌溉定额对滴灌玉米经济效益的影响	43
6.4 腐殖酸施加量与灌溉定额对滴灌玉米协调效应的综合评价	44
6.5 讨论	46
6.6 小结	48
第7章 结论与展望	49
7.1 结论	49
7.2 展望	50
参考文献	51
致谢	59
作者简介	60

第 1 章 绪论

1.1 研究背景及意义

在全球变暖和人口增长的背景下，水资源的紧缺已成为严重的问题，尤其是在农业领域。据农业相关统计，我国农业用水量占全国总用水量的 70%以上，但农业用水效率仅为 40%左右，远低于发达国家水平的 60%~70%^[1,2]。因此，如何有效利用水资源，提高农业灌溉的水效益，成为当前农业可持续发展的关键问题之一。高效节水灌溉技术能够通过精确控制水的用量，将水资源利用效率提升至 70%以上^[3]，甚至更高。滴灌技术不仅能有效减少水分蒸发和地表径流，而且能够直接将水送到植物根系，提高水的利用效率^[4]。

新疆位于中国西北部的亚欧大陆腹地，面积达到 166.49 万 km²，约占全国陆地总面积的 1/6，总水量为 878.26 亿 m³，单位面积产水量仅为 4.8 万 m³/km²^[5]，因地理位置深居内陆且被高山阻隔，气候干旱，降水量稀少，而蒸发量较大，当地水资源主要依赖冰川和积雪融化补给。此外，新疆水资源呈现出明显的空间分布不均，北疆水资源丰富，南疆相对匮乏。而南疆虽然水资源短缺严重，却占据了新疆大部分土地面积，并因农业高度发达，对水资源的需求更加突出^[6]。因此，解决农业用水资源短缺的问题显得尤为迫切，发展高效的节水灌溉技术成为新疆农业可持续发展的必经之路。

膜下滴灌是一种结合以色列局部滴灌技术与国内覆盖栽培技术优势的新型节水灌溉方法，具有高效节水的特点。它融合了覆膜技术和滴灌施肥技术的优点，应用前景广阔^[7]。截至 2020 年底，新疆的节水灌溉面积已达到 424.78 万 hm²，约占实际耕地面积的 88.8%，展示出显著的节水效果^[8]。这种技术的推广与应用对提高水资源的利用效率至关重要。在农业生产中，玉米作为我国第一大粮食作物，其播种面积和产量逐年增加^[9]，由于新疆地区日照充足，昼夜温差大，有利于玉米的营养积累和品质提升。2023 年，全疆玉米播种面积 143.77 万 hm²，占新疆粮食播种面积的 50.90%^[10]。玉米是南疆地区主要的农作物，研究已证实，在玉米种植中膜下滴灌条件下水肥各减少 25%，夏玉米产量可提高 2.8%，肥料利用率则提高了 28.55%^[11]，同时玉米的品质也得到了明显改善，颗粒饱满，含水量适中^[12]。膜下滴灌相比传统施肥显著增产，并且相比未覆膜或未滴灌，可有效提升土壤有机质、速效钾含量和酶活性，同时促进作物增产^[13]。总体而言，膜下滴灌具有增温保墒、节水控肥、提高产量和改善土壤环境的优势，还实现了水肥一体化管理，显著减少劳动力^[14]。