

《盐碱土区回归水安全利用与土壤控盐技术规范》

（征求意见稿）

编制说明

河海大学

2026年9月28日

目 次

- 一、工作简况：包括任务来源、协作单位、主要工作过程、起草组成员及其所做的主要工作等；
- 二、标准编制原则和确定标准主要内容（如技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则等）的论据；标准修订项目还应当列出新、旧标准水平的对比；
- 三、主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果；
- 四、标准涉及的相关知识产权说明；
- 五、采用国际标准的程度与水平的简要说明，与现行有关法律法规和强制性标准的关系；
- 六、重大意见分歧的处理经过和依据；
- 七、其他应予说明的事项。

一、工作简况

（一）任务来源

本标准编制任务来源于农业科技重大项目“回归水安全利用技术研发与示范”。

（二）协作单位

1、牵头单位

河海大学，组织实施标准起草工作及各起草单位之间的协调工作。

2、参加单位

中国科学院南京土壤研究所、松辽水利委员会流域规划与政策研究中心、宁夏回族自治区农垦事业管理局农林牧技术推广服务中心、浙江省水利河口研究院（浙江省海洋规划设计研究院）参与标准起草工作。

（三）主要工作过程

1、标准编制项目组成立

2025年4月至7月，河海大学牵头组织成立了标准编制项目组，联合中国科学院南京土壤研究所、松辽水利委员会流域规划与政策研究中心、宁夏回族自治区农垦事业管理局农林牧技术推广服务中心、浙江省水利河口研究院（浙江省海洋规划设计研究院），针对盐碱土区回归水安全利用问题开展多轮调研，系统剖析了区域水资源利用的主要障碍特征，通过试验与模型分析，初步研讨确定了《盐碱土区回归水安全利用与土壤控盐技术规范》的基本框架、主要内容，并制定了标准制定工作计划、人员分工等。

2、数据和资料收集

2023-2025 年，编制组在宁夏银北灌区（平罗县姚伏镇前进农场三站十五队）和内蒙古河套灌区（五原县）开展了为期三年的田间定位监测试验，分别针对水田与旱地设置了不同灌溉模式，采集了土壤水分、盐分、产量、同位素及作物生长指标等实测数据。同时，收集了水资源公报及统计年鉴并针对灌区主要排水干沟和支沟布设采样点位进行定期检测，确保了本标准内容的科学性、适用性与可行性，并为本标准制定提供了可靠的实证数据与技术支撑。

3、标准起草与立项

2026 年 4-7 月，根据试验结果、结合相关文献资料及国内外相关标准调研结果，编制组经多次讨论与修改，完成了标准草案。

2026 年 8 月提交草案至中国土壤学会开展标准立项函评。经函评专家评审论证，同意立项，中国土壤学会于 2026 年 9 月 11 号发布立项公告。

4、征求意见阶段

标准立项公示结束后，编制组根据立项函评专家意见进一步修改完善标准草案，完成征求意见初稿撰写工作。2026 年 9 月，编制组向 12 家单位进行意见征集，共收集专家反馈意见 72 条；其中，采纳 59 条，部分采纳 9 条，未采纳 4 条。2026 年 9 月，编制组根据征集意见对标准文本进行了修订。征求意见稿及编制说明撰写工作完成后，于 2026 年 9 月 28 日提交中国土壤学会。

（四）起草组成员及分工

余冬立 河海大学 负责标准整体结构的设计和技术内容的确定,并协调标准编制过程中各起草单位之间的工作。

刘建立 中国科学院南京土壤研究所 负责标准整体结构的设计和技术内容的确定,指导标准起草工作。

王洪德 胡照威 潘永春 王承书 张鹏 孙泉沁 何琪琳 陈鹏 施超 李博 河海大学 负责资料收集、样品采集与分析、标准文本起草和修订工作。

万程炜 王灿 魏梦 中国科学院南京土壤研究所 负责标准起草和标准论证,协助组织专家评审及意见修改工作。

李航 崔亚锋、黄鹤、方书义 松辽水利委员会流域规划与政策研究中心 负责资料收集与分析、参与标准起草与标准论证。

马文礼 徐灿 宁夏回族自治区农垦事业管理局农林牧技术推广服务中心 负责技术方案论证、参与标准修订工作。

肖梦华 卢成 王磊 浙江省水利河口研究院(浙江省海洋规划设计研究院) 参与标准起草与修订工作。

二、标准编制原则和确定标准主要内容(如技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则等)的论据

(一) 标准编制原则

1、规范性原则

本文件严格遵循 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则》的要求,结构完整、术语统一、逻辑清晰。本文件规定了土壤适宜性评价、回归水安全利用基本要求、回归水安全利用与控盐技术、田间利用条件与配

套设施、土壤水盐动态监测、控盐效果评价及风险预警等内容。对“回归水”“回归水安全利用”“可利用回归水”等核心术语进行了科学界定，避免歧义。引用了农田灌溉水质、地下水质量、土壤环境质量、灌溉排水及监测等相关标准，涵盖土壤环境、灌溉排水、作物生长等多个领域，确保标准内容的协调性和可操作性。

2、科学性原则

本标准针对轻、中度盐碱土区农田用水控盐及节水稳产的核心需求，基于盐碱土灌区内回归水水质与水量的时空特征分析，以不同回归水灌溉模式下土壤盐分分布及作物产量为参照，采用以作物生长模型为基础下的多目标灌溉优化策略，明确了不同水文年、土壤盐分条件下，适宜的回归水替换比例及灌溉水量。体现了个性化、精准化的科学调控理念。

3、适用性和可操作性原则

适用范围明确：适用于轻度、中度盐碱土区农田回归水（包括农田灌溉退水、田间排水沟汇水、渠道尾水、支排沟汇水和农田浅层排水等）安全利用、耕层土壤盐分调控和土壤质量风险管理。

因地制宜设计：强调根据盐碱土区域的土壤类型、气候条件、回归水水质等因素，制定对应的灌溉方案，体现了技术规范对于不同灌溉目标的适应性。同时，鼓励结合当地种植制度、水稻品种等条件，制定本地化实施方案。

技术流程清晰：从资料收集、现场调查、方案编制到方案实施、验收评价，流程完整，便于技术实施和管理。技术实施部分明确了回

归水安全利用技术要点，流程清晰。

检验评价机制合理：明确土壤、水质和地下水等监测内容及评价要求，使回归水利用效果和土壤积盐风险能够持续跟踪。

4、先进性原则

理念创新：突破传统“常规用水”下的洗盐灌溉方式和“单一性”场景下的灌溉制度的局限，立足轻、中度盐碱区特点，以实际大田试验为基础，以“节水优先”和“生态保障”为核心思想，提出了盐碱土区回归水安全利用与土壤控盐的技术规范，有利于推动农田水利节水与生态修复的工作，填补国内关于回归水安全利用的技术空白。

技术集成与量化管理：通过整合现场采样指标，借鉴盐碱区土壤条件与特点，收集相应的气象参数信息，明确了不同水文年、土壤盐分状况下的回归水灌溉制度，同时，细化勘测样点布设密度、采样深度、检测频次等要求，将回归水水质标准以及回归水灌溉制度标准转化为可量化、可检测、可验证的具体指标，避免模糊化要求。同时，对监测点位、指标、频次及结果评价提出要求。

可持续性管理：立足盐碱土区的长期效益，兼顾生态可持续、生产可持续和管理可持续，确保农田能长期发挥耕作功能，实现“节水有方案、控盐有标准、产量有保障”的目标，基于现实条件，强调短期降盐和长期控盐相结合，短期节水与长期生态保障相结合，实现土地生产能力和生态功能的长期稳定。

（二）确定标准主要内容的论据

本标准针对轻度、中度盐碱土区农田回归水利用中水质波动大、

配水风险高、耕层盐分易累积及节水稳产难以协同的问题，构建前期评价、田间安全利用与控盐实施、动态监测与效果评价的技术体系。标准主要内容的确定以田间试验、回归水水质监测、土壤水盐动态观测、相关技术研究成果及现行标准为依据，具体论据如下。

1、关于标准适用范围

本文件适用于轻度、中度盐碱土区农田回归水安全利用、耕层土壤盐分调控和土壤质量风险管理。本文件面向盐碱土区农田回归水利用；水田与旱作农田分别按照第 7 章相应技术要求实施；文件同时适用于农田灌溉退水、田间排水沟汇水、渠道尾水、支排沟汇水和农田浅层排水等农业回归水的就地收集、分级利用和土壤控盐管理，具有广泛的适用性和针对性。

2、关于技术路径的设定

为解决盐碱区农田用水控盐及节水稳产的问题，提出以“土壤适宜、源水达标、分级利用、淡咸调配、以排促控、动态监测、风险预警”为核心的技术路径，具有以下科学依据和实践支撑：一是以盐碱区土地利用类型以及土壤理化性质为支持，明确土壤适应性分级与利用要求，给出了土壤监测指标与频次；二是以盐碱区回归水水量调查与水质监测试验为基础，给出回归水的水质分级与基本控制指标；三是以水稻种植为手段，TDR 探头、流量计等设备为持续监测工具，开展不同回归水灌溉模式下的耕层脱盐率、节水率、产量保持率等控制指标的差异性分析，给出了回归水控盐利用效果评价指标；四是基于大田试验资料，采用以作物生长模型为基础下的多目标灌溉优化策略，

明确了不同水文年、土壤盐分条件下，适宜的回归水替换比例及灌溉水量。

3、关于回归水安全利用技术的科学性

为确保技术实施的精准性和可操作性，附录 A 提供了灌溉水源配比计算示例，明确了最大允许回归水比例的计算公式；附录 B 提供了水盐平衡评价记录内容，明确了各个具体数据与结果的记录信息；附录 C 提供了土壤适宜性评价记录内容，并且确立了相应的评价说明。以上方法与内容衔接多项国家标准、行业标准及国际标准，避免了盲目施用，提升了技术的适应性和推广性。

4、关于环境安全要求

为保证盐碱区推广回归水灌溉技术下，生态环境得到保障，附录 B、C 也明确给出了具体的评价记录与内容，明确引用国家或行业标准（如 GB 5084-2021、HJ 166-2026、GB 15618-2018），保障盐碱区农田生态环境安全。

5、关于标准的实用性与推广性

本文件在编制过程中充分考虑了不同盐碱状况、气候条件、回归水水量水质的差异，提供了灵活性较强的技术路径与实施办法。同时强调与现有土地整治、灌溉排水、耕地质量评定等标准体系的衔接（如 GB/T 21303-2017、GB 50288-2018、GB/T 29404-2025），具备良好的兼容性和推广基础。

三、主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果

（一）主要试验（或验证）的分析、综述报告

1、技术背景

我国淡水资源总储量约为 2.8 万亿立方米，占全球水资源总量的 6%，位居世界第四。然而，由于人口规模庞大，我国人均水资源量远低于全球平均水平，加之地形地貌与气候条件复杂，淡水资源呈现出明显的时间与空间分布不均特征。因此，在保障农业可持续发展的前提下，一方面需推进节水型农业建设，提升灌溉效率；另一方面应积极拓展非常规水资源，减少对常规淡水资源的依赖。

灌溉回归水的形成过程复杂多样，在农田灌溉中主要包括流经渠系和田间的地表水流和地下水渗流回流到下游沟渠或河道中的灌溉余水。回归水作为一种来源于灌渠渗漏与田间退水的微咸水资源，其矿化度通常为 2~5 g/L。该类水体虽盐分浓度高于常规地表水，但在一定管理与控制措施下，具备作为农业灌溉水源的潜力。然而，回归水灌溉可能导致外源盐分在根区土壤中累积，若其浓度超出作物的耐盐阈值，将对作物生长产生胁迫，进而引发次生盐碱化问题。

国内外已有研究尝试采用如淡咸水轮灌、混灌或增加灌水量等方式缓解根区盐分积累风险，但对于回归水的水质时空变异规律、其对作物产量与土壤盐分分布的具体响应机制仍缺乏系统研究。因此，如何在确保作物产量的同时科学利用回归水资源，降低根区盐分胁迫风险，是实现盐碱土区农业可持续发展与区域水资源高效利用的关键科学问题，亟需深入研究与技术支撑。

选取宁夏银北灌区为研究区域，具体如图 1 所示。水质监测主要

为选定典型排水沟为银北灌区第二排水沟、第三排水沟、第四排水沟及第五排水沟,干沟和支沟从上游至下游入黄河口均匀布置 103 个采样点,分别于 2023 年 5 月 23 日与 7 月 26 日采集干、支沟水质,监测点位置分布如图 1 所示。并在典型稻田开展为期两年的田间定位监测试验,试验于 2023-2025 年在宁夏石嘴山市平罗县姚伏镇前进农场三站十五队 (106.4° E, 38.8° N) 进行。大田试验区内分别设置足量回归水淹灌 (T1),黄河水淹灌 (T2),适量回归水淹灌 (T3),黄河水-回归水交替灌溉 (T4) 以及退水再灌 (T5) 5 种不同灌溉用水模式,同时设置常规灌溉 (T6) 为对照处理,所有处理的灌溉均为淹灌。每一处理田间小区设三个重复,每个重复南北方向长 50 m,东西方向宽 25 m,处理间隔为 1 m,重复间隔为 0.5m,处理间距之间采用塑料防渗膜埋置于地下 0.8 m 处用以防渗,试验小区布置如图 2 所示。

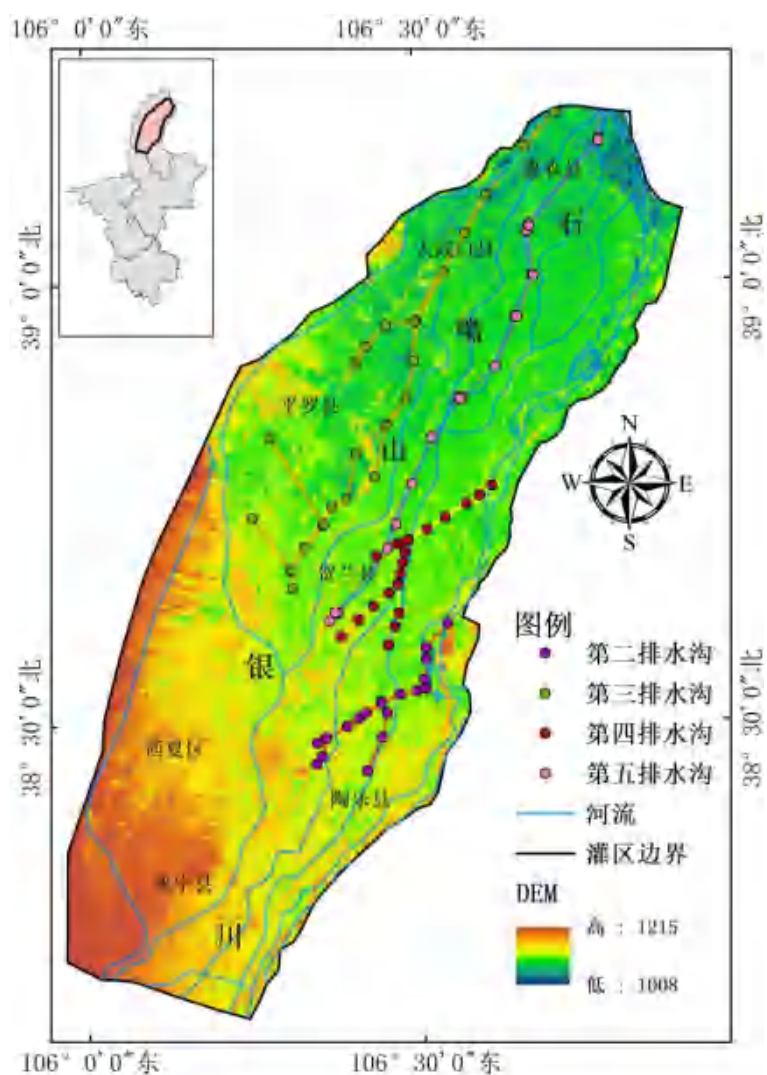


图 1 研究区采样点分布图

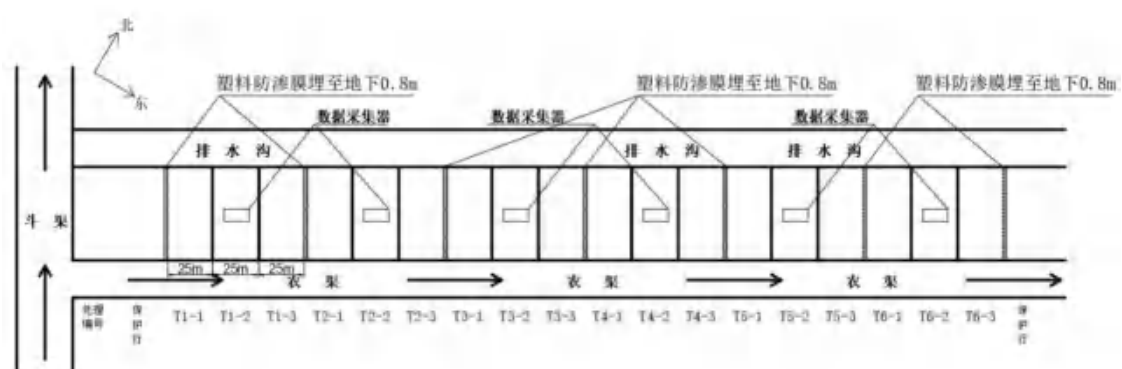


图 2 试验小区布置

2、技术原理

针对轻、中度盐碱区缺乏常规淡水灌溉资源的背景下而构建的

回归水安全利用与土壤控盐技术，以银北灌区为例，其模式的技术原理如下：一是回归水水量水质时空特征分析，通过收集历史气象资料、水资源公报与宁夏统计年鉴，并对银北灌区典型排水沟回归水进行水质的定期监测。本研究以水质采样点为中心，构建了多尺度的缓冲区体系，并计算识别水质时空变化的驱动因子，评估银北灌区回归水灌溉可行性；二是不同回归水灌溉模式下的土壤盐分分布与作物产量分析，通过选取典型稻田土壤，设置多种不同回归水灌溉模式进行田间灌溉试验，并在水稻各生育阶段采集土壤、植物样本，最终收获产量，为后期多目标优化灌溉方案筛选最优回归水灌溉模式提供大田数据支撑；三是根据连续的数据监测与样本采集，构建以作物生长模型为基础下的多目标灌溉优化策略，明确了不同水文年、土壤盐分条件下，适宜的回归水替换比例及灌溉水量。

3、田间验证试验实施

试验区域土壤均为中度盐土。土壤颗粒组成及基本理化性质见表1与表2。

表 1 试验区域土壤样本容重及颗粒组成

土层深度	容重 g/cm3	颗粒组成			土壤质地
		砂粒/%	粉粒/%	粘粒/%	
0-20cm	1.52	11.20	51.68	37.12	粉粘壤土
20-40cm	1.55	12.55	52.00	35.45	
40-60cm	1.47	8.17	51.60	40.23	
60-80cm	1.52	7.38	51.40	41.22	粉粘土
80-100cm	1.49	3.95	50.85	45.20	

表 2 试验区域土壤样本基本理化性质

土层	pH	全盐	八大离子量(mg/kg)
----	----	----	--------------

深度	值	量	Na+	K+	Mg2+	Ca2+	Cl-	SO42-	CO32-	HCO3-
		(g/kg)								
0-40cm	8.25	3.12	330.42	20.02	73.62	197.44	236.82	1791.22	0.00	9.07
40-100cm	8.44	1.99	416.61	17.05	60.14	108.27	222.04	1159.93	0.00	9.21

供试品种为当地种植面积较广的宁粳 45 号水稻，播种采用无人机直播的方式，每个小区的直播密度和化肥使用量相同。根据自治区政府 2020 年修订的农业用水定额，设置不同灌溉处理技术，实际水稻各生育阶段灌水组成与要点分别见图 3、表 3。研究区回归水全盐量约为 1.26 g/L，黄河水全盐量约为 0.94 g/L，试验区域灌溉用水与退水理化性质见表 4。

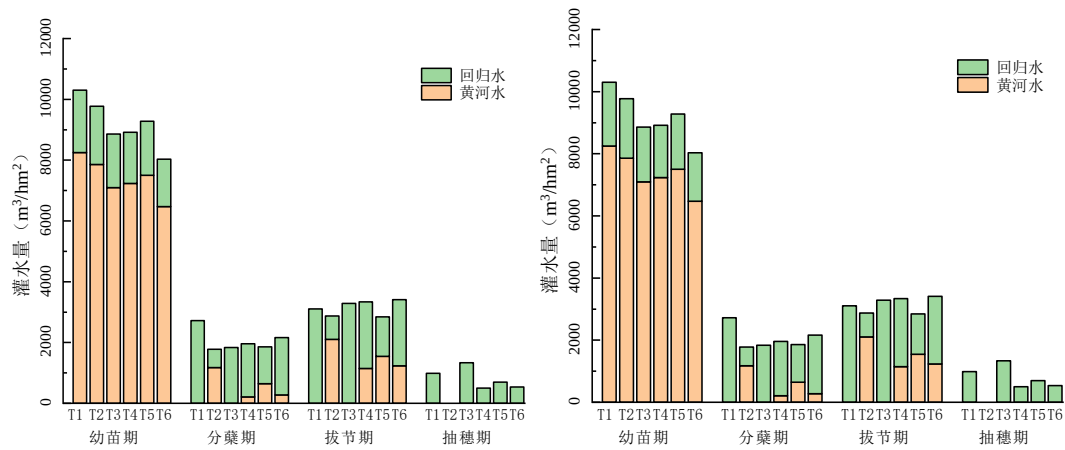


图 3 2023（左）、2024（右）年水稻各生育阶段不同灌溉处理灌水组成

表 3 各灌溉模式要点

处理编号	灌水方式	不同生育期水层（cm）与含水率%				
		分蘖期前	分蘖期	拔节期	抽穗期	黄熟期
T1	足量回归水淹灌		采用回归水淹灌，保持 5cm 左右水层	采用回归水淹灌，保持 7cm 左右水层	同拔节期	停水自然落干
T2	黄河水淹灌	均采用当地经验灌溉	采用黄河水淹灌，保持 3cm 水层	采用黄河水淹灌，灌至 5cm 水层，落干后再灌	同拔节期	同 T1 黄熟期
T3	适量回归水淹灌		同 T2，灌溉水为回归水	同 T2，灌溉水为回归水	同拔节期	同 T1 黄熟期

T4	交替灌溉	采用黄河水、回归水、再黄河水的循环淹灌，保持 3cm 水层	采用黄河水回归水交替淹灌，灌至 5cm 水层，落干后再灌	同拔节期	同 T1 黄熟期
T5	退水再灌	采用回归水淹灌，灌至 3cm 左右水层，2-3 天后排尽田间水，补灌回归水至水层 1.5cm 左右	采用回归水淹灌，灌至 5cm 左右水层，2-3 天后排尽田间水，补灌至水层 2.5cm 左右	同拔节期	同 T1 黄熟期
T6	常规灌溉	黄河水常规灌溉			

表 4 区域灌溉用水样本理化性质

样本名称	pH 值	全盐量 (g/L)	八大离子量(mg/L)							
			Na+	K+	Mg2+	Ca2+	Cl-	SO42-	CO32-	HCO3-
回归水	7.75	1.26	249.84	15.10	72.09	11.53	259.01	334.89	16.01	201.77
黄河水	6.98	0.94	200.29	9.39	53.01	18.21	221.46	288.57	9.60	138.85
T5 田间退水	7.82	1.35	---	---	---	---	---	---	---	---

不同灌溉模式下不同深度土壤全盐量随时间变化如图 4、图 5 所示，各时期不同深度土壤盐分含量差别较大。土壤初始全盐量随土层深度增加而降低。综合土壤盐分监测数据可得，初始阶段根区土壤（0-40 cm）初始全盐量均较高，2023 年介于 2.21-3.90 g/kg 之间，2024 年介于 2.89-3.38 g/kg 之间，各处理之间初始含盐量差异不显著；深层土壤（40 cm-100 cm）初始全盐量分别介于 1.58-2.66 g/kg、1.93-2.60 g/kg 之间，整体处于较低水平。2023 年不同灌溉模式下，分蘖期与拔节期浅层土壤全盐量降低较为显著，但不同灌溉模式处理下土壤分层全盐量差异较为显著，T4、T6 处理土壤全盐量显著高于其他处理。水稻种植前泡田产生的淋溶效应，使水稻根区土壤全盐量明显降低，盐分向下迁移。随着水稻生育期用水量增加，各处理 40-80 cm 深度

土壤全盐量存在先降低后升高的趋势，在 60 cm 深度处土壤全盐量最小。2024 年六种灌溉模式下，分蘖期与拔节期浅层土壤全盐量与 2023 年具有相同的变化趋势，均较种植初始有显著的下降。而自分蘖期至黄熟期水稻收获，稻田土壤 0-100 cm 土壤全盐量含量在相同生育阶段内几乎没有差异。但随着水稻成熟，灌水停止，稻田水分逐渐降低，稻田土壤 0-100 cm 土壤全盐量整体逐渐增加。2024 年各生育阶段土壤全盐量相较 2023 年同时期均有所下降，这可能与 2024 年采用了更大的灌水量，对土壤盐分的淋洗效果更加强烈，促进土壤盐分随着土壤水分向下迁移。

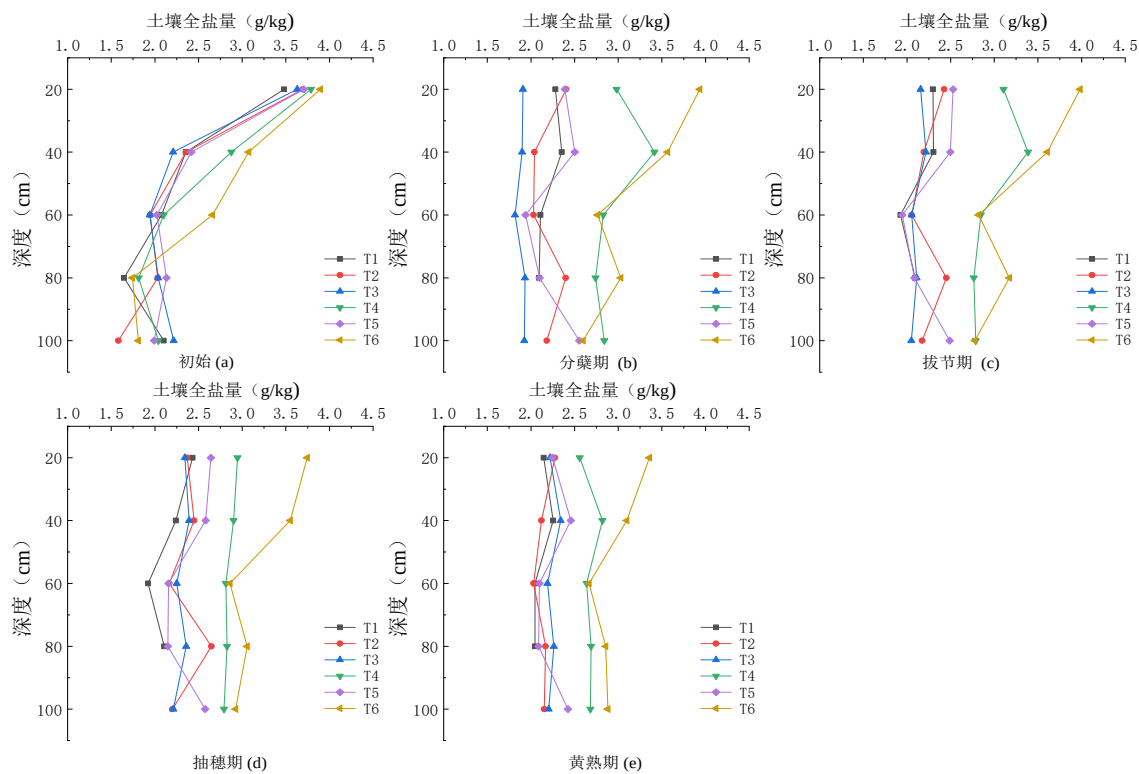


图 4 2023 年水稻各生育阶段土壤含盐量

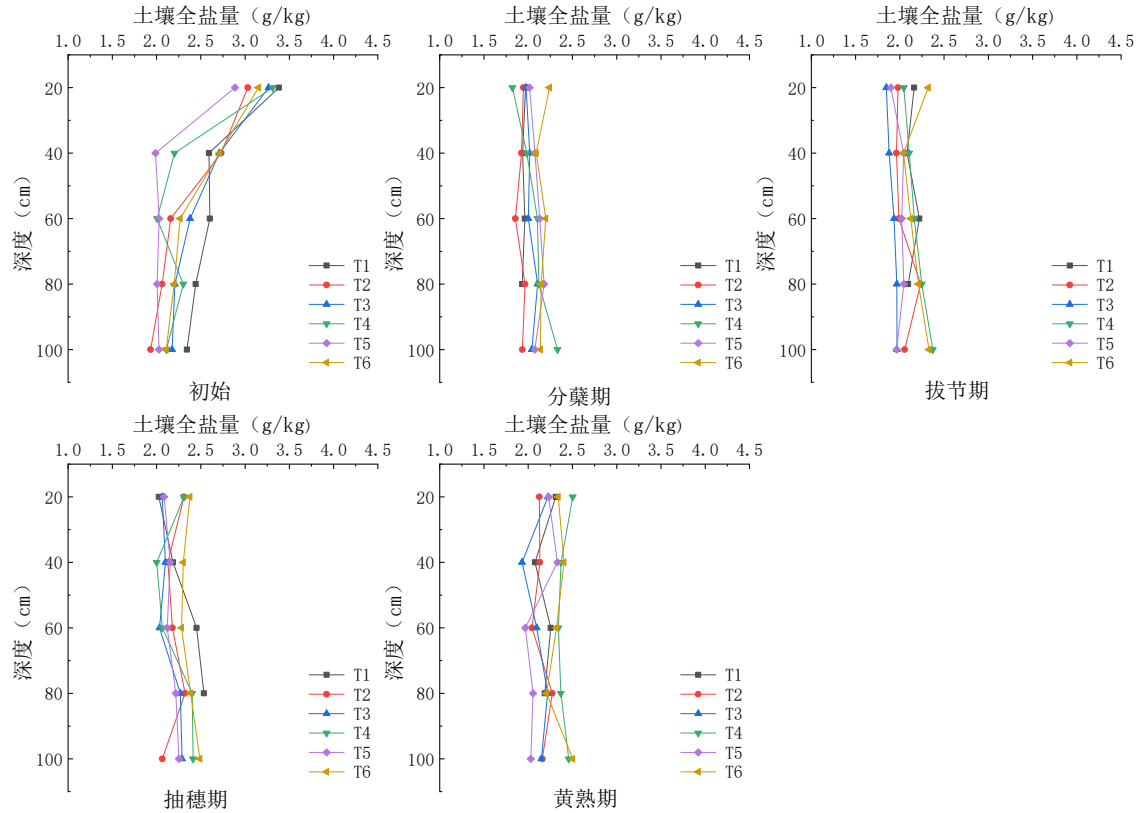


图 5 2024 年水稻各生育阶段土壤含盐量

图 6(a)、图 7(a)为两年不同灌溉模式下全生育期土壤脱盐率随深度变化图，其中负值代表土壤积盐，正值代表土壤脱盐。2023 年土壤最大脱盐率出现在 T3 处理 20cm 处，土壤全盐量较初始减少 38.9%，最大积盐率出现在 T6 处理 80 cm 处，土壤全盐量较初始增加 71.6%。T1 处理全生育期脱盐深度最大，达到 60 cm 深度，T2、T4 处理洗盐深度可达到 40 cm，其余处理仅在 20 cm 深度存在土壤脱盐现象。2024 年土壤最大脱盐率出现在 T3 处理 20 cm 处，土壤全盐量较初始减少 32.0%，最小脱盐率出现在 T5 处理 100 cm 处，土壤全盐量较初始降低 0.1%，几乎相当。六种不同灌溉模式全生育期在 0-100 cm 深度均存在不同程度的脱盐现象，根区土壤脱盐现象较为显著，脱盐率随着土壤深度的增加逐渐减小。

六种灌溉模式 0-100 cm 及根区土壤脱盐率见图 6(b)、图 7(b)。

不同灌溉模式对于土壤 0-100 cm 脱盐率影响不同。2023 年 0-100 cm 土壤脱盐率变化范围为-12.70%-9.58%。最大为 T1 处理，0-100 cm 土壤全盐量共降低 9.58%，根区土壤(0-40 cm)脱盐率最大出现在 T2 处理，根区土壤全盐量共降低 27.36%，T3 处理土壤剖面脱盐率达到 6.82%，次于 T1、T2 处理，根区脱盐率为 21.93%，分别较 T1、T2 处理降低 2.63%、5.43%。2024 年 0-100 cm 土壤脱盐率变化范围为-0.21%-16.86%。最大为 T3 处理，0-100 cm 土壤全盐量共降低 16.86%，分别较 T1、T2 处理大 1.61%、6.65%；根区土壤(0-40 cm)脱盐率最大出现在 T3 处理，根区土壤全盐量共降低 30.49%，分别较 T1、T2 处理大 9.0%、4.39%。

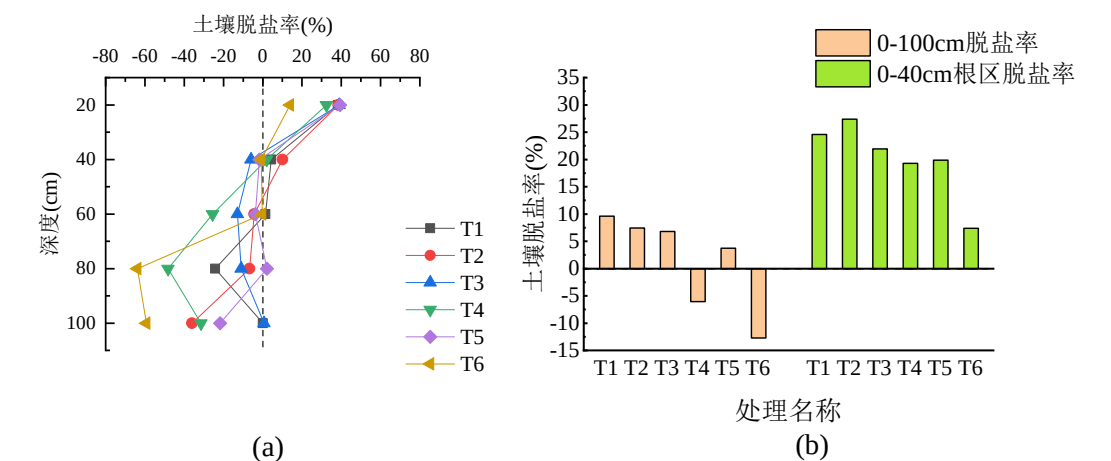


图 6 2023 年生育期土壤脱盐率随深度变化 (a) 0-100cm 及根区土壤脱盐率 (b)

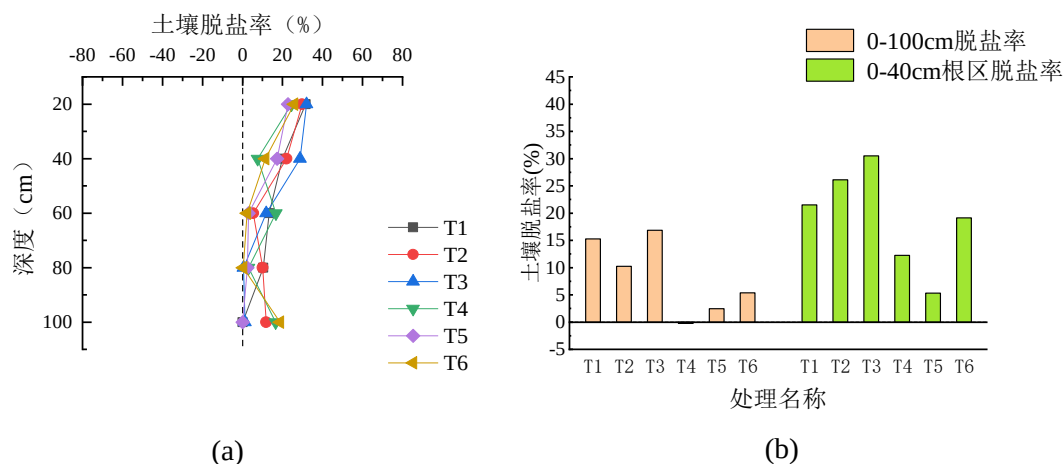


图 7 2024 年生育期土壤脱盐率随深度变化 (a) 0-100cm 及根区土壤脱盐率 (b)

通过测得的 $\delta^{18}\text{O}$ 同位素计算土壤盐分垂向运移，得到各处理盐分平衡结果如表 5、表 6 所示，各处理土壤盐分通量如图 8、图 9 所示，不同灌溉模式土壤盐分平衡差异显著。全生育期盐分在灌水后均出现向下迁移现象，T1 处理盐分通量最大值出现在 60 cm 处；2023 年 T2、T4 处理盐分通量在 40 cm 处出现极大值；T3、T5、T6 处理土壤盐分通量随深度逐渐降低。由图 6 可知，T1、T3、T5 处理浅层盐分向下迁移，大部分累积在土壤 60-80 cm 区域，盐分来源于灌溉水、上层土壤盐分和下层土壤盐分，T3 处理 0-20 cm 土壤盐分变化最大，向下迁移 3.90 t/hm^2 ；T2、T4、T6 处理盐分在 40 cm 以下分布较为平均，主要来自灌溉水与上层土壤盐分，受下层土壤影响较小，T6 处理 0-20 cm 土壤盐分变化量仅有 -0.76 t/hm^2 。另一方面，由表 5 可以看出，对于根区盐分，T6 处理最低，仅有 -0.61 t/hm^2 ，T1 处理的盐分变化最大，为 -4.82 t/hm^2 ，T3 处理根区盐分变化量为 -2.82 t/hm^2 ，仅次于 T1 处理。2024 年 T2 处理盐分通量在 40 cm 处出现极大值；T3、T4、T5、T6 处理土壤盐分通量随深度逐渐降低。由图 9 可知，六种处理浅层盐分均向下迁移，大部分累积在

土壤 60-80 cm 区域，T1 处理 0-20cm 土壤盐分变化最大，向下迁移 5.33 t/hm²；各处理在 60-80 cm 深度均发生不同程度的盐分累积，T1 处理盐分变化最大，累计增加达到 20.41 t/hm²，但较 2023 年积盐程度较轻，可能是由于加大了灌溉水量，盐分淋洗充分，离开研究区域的深度。另一方面，由表 6 可以看出，对于根区盐分，T6 处理最低，仅有-3.15 t/hm²，T1 处理的盐分变化最大，为-14.35 t/hm²，T3 处理根区盐分变化量为-7.54 t/hm²，仅次于 T1 处理。

表 5 2023 年不同灌溉模式土壤盐分平衡结果

处理	灌溉带入量 t/hm ²	根区（0-40cm）盐分变化量 t/hm ²	60cm 以下盐分变化量 t/hm ²
T1	15.67	-4.82	28.13
T2	11.19	-1.61	14.45
T3	13.80	-2.82	4.54
T4	12.44	-1.49	28.06
T5	11.98	-2.37	1.98
T6	11.82	-0.61	31.91

表 6 2024 年不同灌溉模式土壤盐分平衡结果

处理	灌溉带入量 t/hm ²	根区（0-40cm）盐分变化量 t/hm ²	60cm 以下盐分变化量 t/hm ²
T1	21.48	-14.35	20.41
T2	8.40	-5.45	15.23
T3	16.39	-7.54	18.19
T4	16.27	-8.88	17.75
T5	15.87	-5.47	17.46
T6	15.27	-3.15	17.04

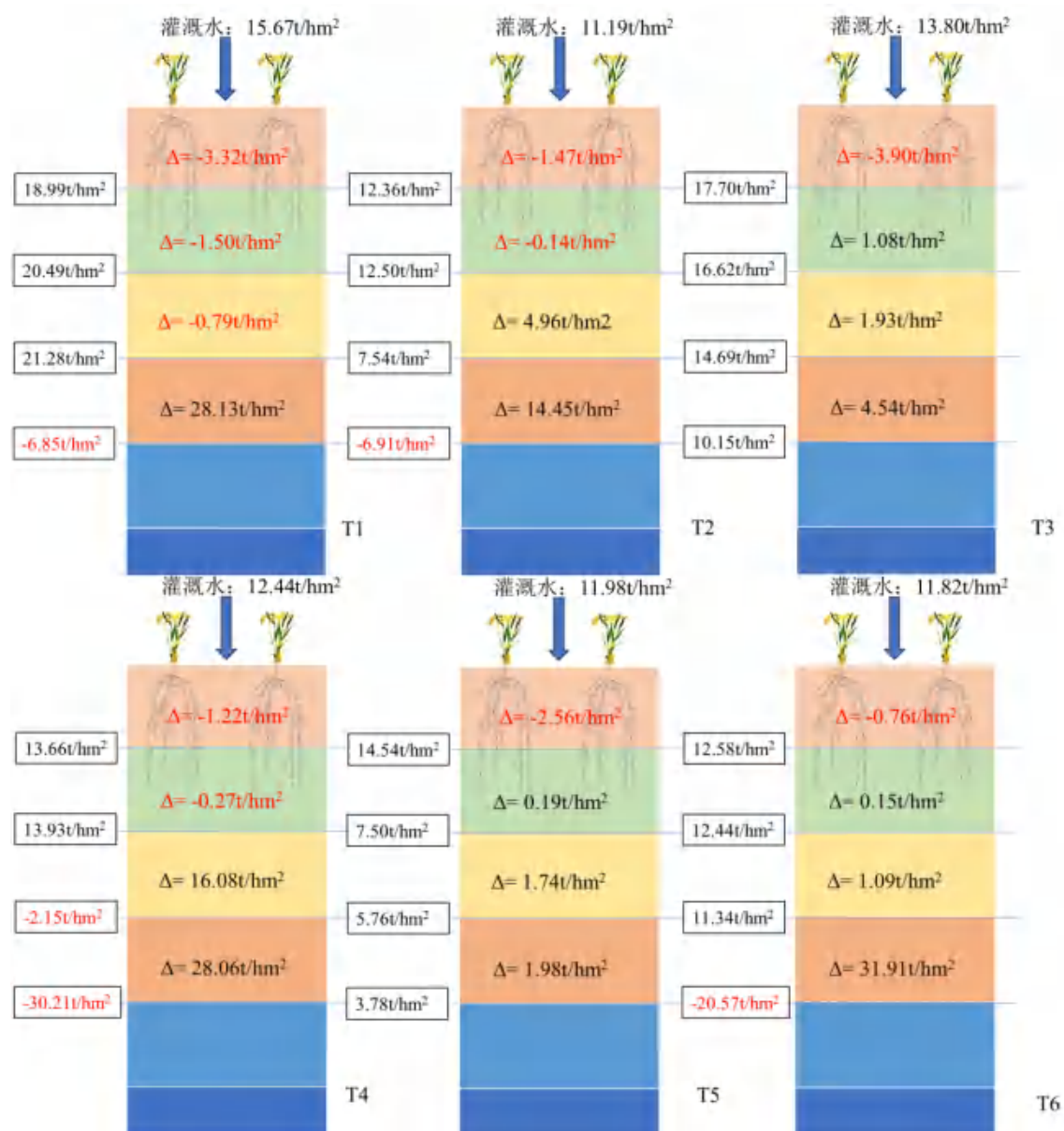


图 8 2023 年水稻种植期不同灌溉模式盐分平衡图

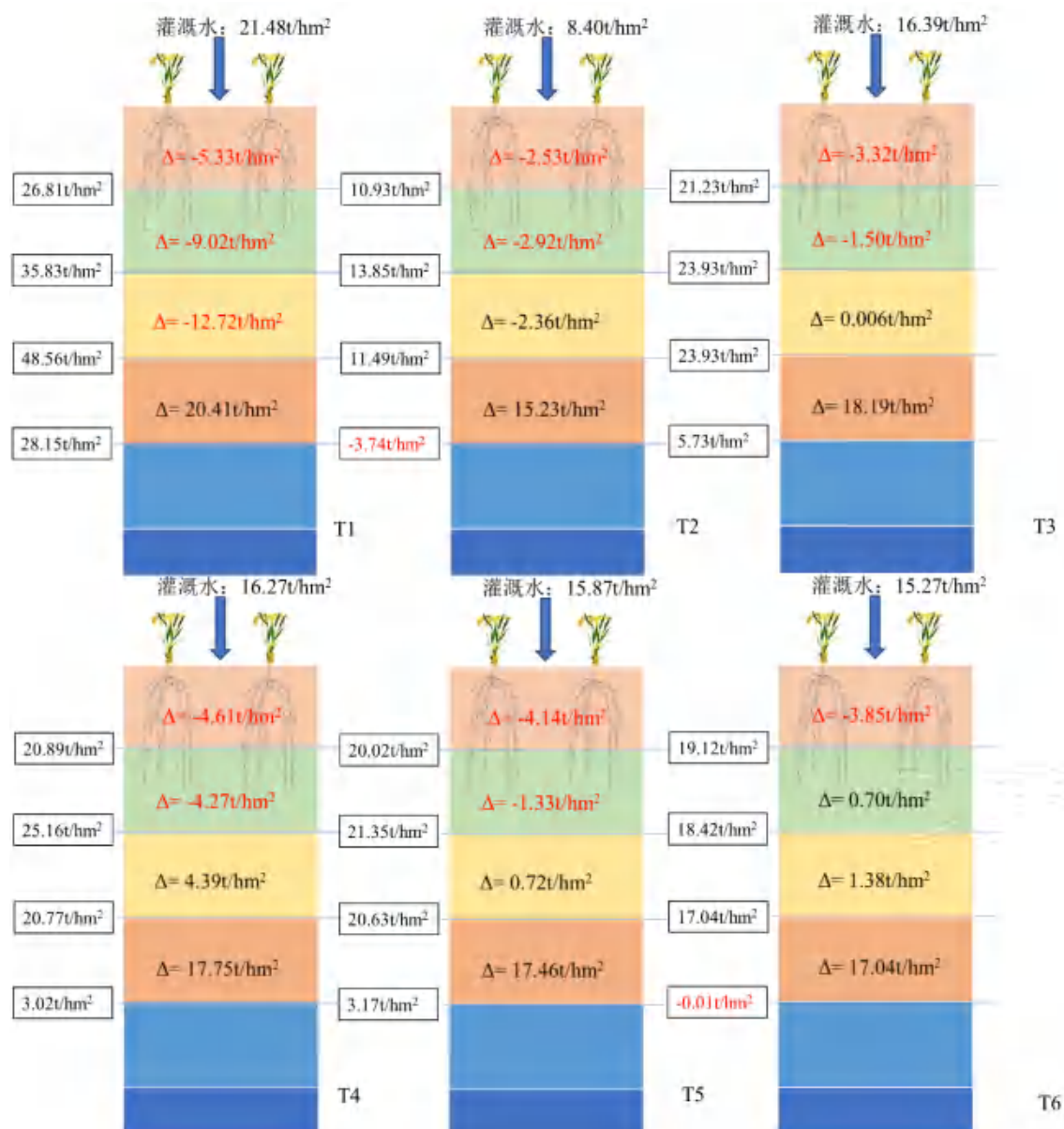


图 9 2024 年水稻种植期不同灌溉模式盐分平衡图

5、多目标优化模拟与回归水替代比例情景分析

为避免仅依据单一年份或单一田间试验处理确定回归水利用比例，本研究构建了水盐产量物理机制模型与 NSGA-III 多目标优化情景分析框架。该框架以水稻产量、期末土壤盐分和灌溉用水量为协同控制目标，识别不同水文年型、土壤初始盐分及回归水水质条件下回归水利用的可行范围，为标准中回归水动态配比、灌排协同控盐和风险预警等技术要求提供模型依据。

在模型构建方面，基于田间试验资料，通过边界线分析确定水稻理论最大产量潜力为 10074.6 kg/ha，作物实际耗水量与大田产量的二次多项式拟合图见图 10；

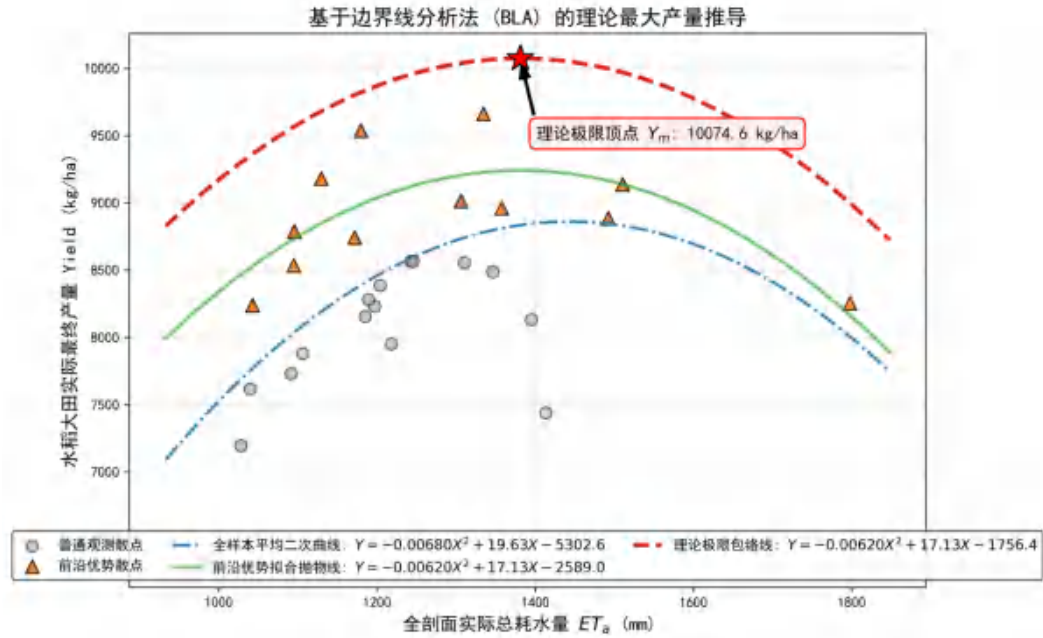


图 10 水稻理论最大产量潜力推导图

基于传统的盐分平衡方程，进行改进修正，建立期末土壤表观电导率动态方程，综合表征初始盐分本底、灌溉带盐量和净淋洗水量对土壤盐分变化的影响：

$$EC_{final} = \alpha EC_{init} + \beta S_{irr} - \gamma W_{leach}$$

式中参数说明：

EC_{init} ：播种前的土壤初始本底盐分。

S_{irr} ：整个生育期随灌溉水（黄河水+微咸水）带入农田的总盐量。

W_{leach} ：净淋洗水量（总灌水量+降雨量-实际蒸散发量 ET_a ）。

即有三个待求解参数，其含义如下：

α ：初始盐分本底遗传率（反映土壤自身保盐能力）。

β ：灌水带盐率（反映外源盐分的截留比例）。

γ : 深层淋洗率（反映大水漫灌把盐分洗出根系层的效率）。

参数结果见下表 7:

表 7 盐分收支平衡公式参数结果

α	β	γ
0.7387	0.0003	0.0007

在传统 Jensen 模型基础上，引入外部管理折算系数和盐分胁迫项，构建水—盐复合产量响应模型，具体模型公式如下：

$$Y_a = Y_m \cdot K_{ext} \cdot f_{water} \cdot f_{salt}$$

其中，水分胁迫项 (f_{water}): 采用 Logistic 平滑平滑曲线降维提取四个生育期的敏感指数 (λ_i):

$$f_{water} = \prod_{i=1}^4 \left(\frac{ET_{ai}}{ET_{mi}} \right)^{\lambda_i}$$

$$\lambda_i = Z(t_i) - Z(t_{i-1}), Z(t) = \frac{c}{1+e^{a-bt}}$$

盐分胁迫项 (f_{salt}): 采用改进的极化分段函数评估估各阶段盐分负荷:

$$f_{salt} = \prod_{i=1}^4 (S_i)^{b_i}$$

$$S_i = \begin{cases} 1.0 & S_i \leq S_{min_i} \\ \frac{S_{max_i} - S_i}{S_{max_i} - S_{min_i}} & S_i < S_i < S_{max_i} \\ 0.01 & S_i \geq S_{max_i} \end{cases}$$

式中参数说明:

Y_m : 作物理论最大产量值 (kg/ha)

Y_a : 实际最终产量 (kg/ha)

ET_{ai} : 第 i 个生育期内，水稻的实际耗水量 (mm)。

ET_{mi} : 第 i 个生育期内, 水稻在水分绝对充足、无任何胁迫下的最大耗水量 (mm)。

K_{ext} : 因站点外与试验区内的灌溉条件、管理等差异, 站外与试验区最终产量存在差异, 用该系数折算。

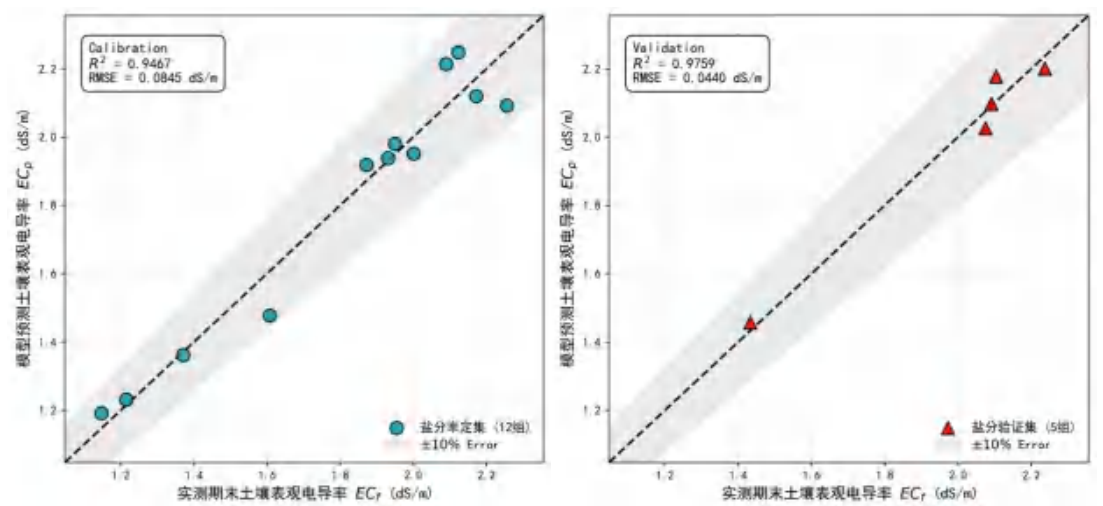
λ_i 、 b_i 为第 i 个生育期内的水分、盐分敏感指数, S_{min_i} 、 S_{max_i} 为试验区内的作物耐盐下限与盐害上限。

参数结果图及参数结果表见下表 8:

表 8 改进 Jensen 模型参数结果

水分敏感指数 (λ)	盐分敏感指数 (b)
$\lambda_1=0.152$	$b_1=0.023$
$\lambda_2=0.192$	$b_2=0.013$
$\lambda_3=0.170$	$b_3=-0.03$
$\lambda_4=0.206$	$b_4=0.036$

模型率定结果表明, 外部管理折算系数为 0.902; 盐分模型验证集 R^2 为 0.9759、RMSE 为 0.0440 dS/m, 产量模型验证集 R^2 为 0.6265、RMSE 为 305.1 kg/ha、MAPE 为 2.92%, 详细见图 11, 可用于本研究区的情景模拟与方案筛选。



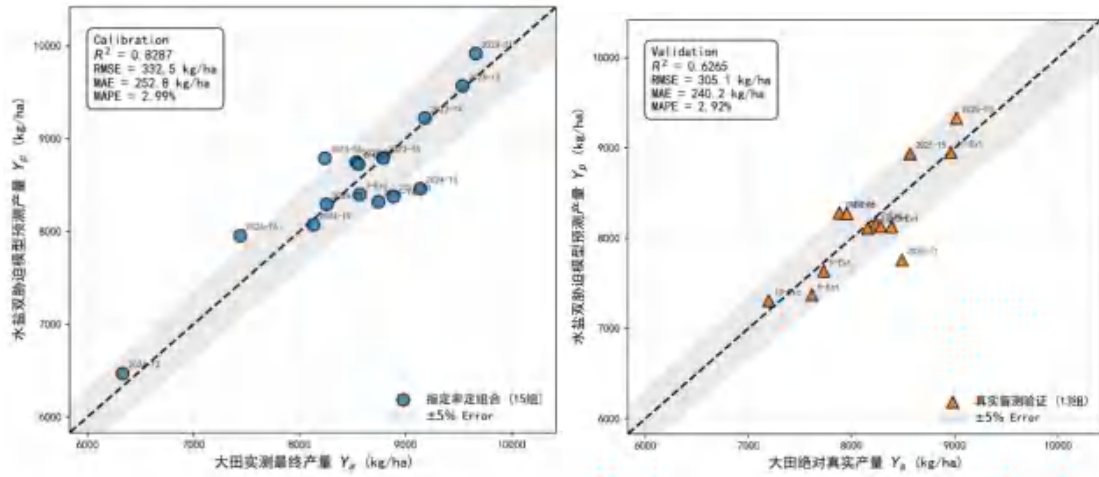


图 11 盐分与产量模型参数率定与验证结果

在气象情景构建方面，采用 P-III分布和 Copula 联合分布方法，对降水和蒸发过程进行扩序，生成 5000 组生育期气象情景；按照丰水年、平水年和枯水年进行 25%-50%-25%分型，并结合拉丁超立方抽样覆盖灌溉水量、回归水比例和初始盐分等决策变量。以物理机制模型的正向推演结果为训练样本，构建 BP 神经网络代理模型，提高大量情景下水稻产量和期末土壤盐分的计算效率，见图 12。

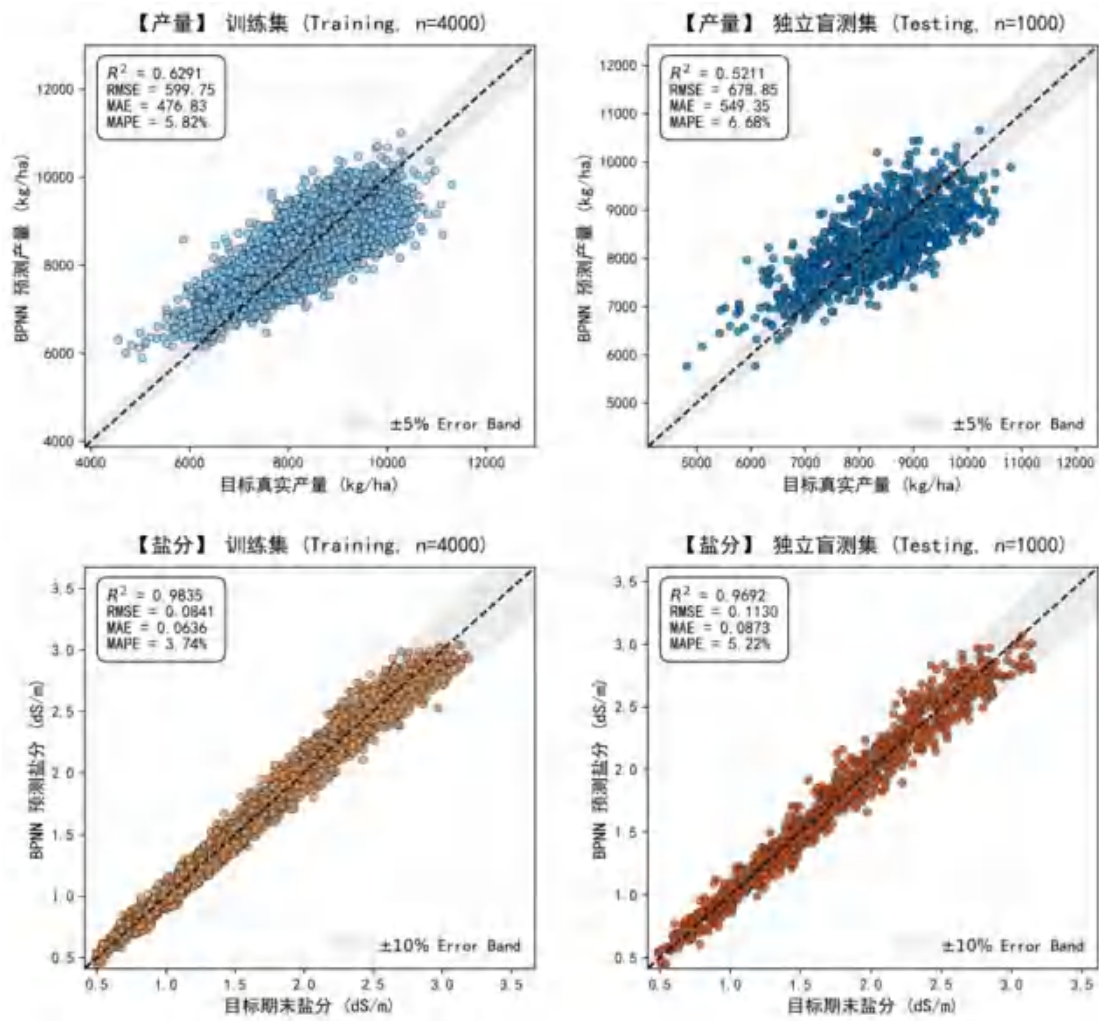


图 12 神经网络训练及测试结果

多目标优化以各生育期黄河水和回归水配置为决策变量，以产量最大、期末土壤盐分最小和总灌溉用水量最小为目标，同时设置灌溉总量限额、黄河水取用上限、各生育期灌水上下限、耕层脱盐率不低于 20%及水稻产量不低于 7500 kg/ha 等约束条件。采用 NSGA-III 算法获得满足约束的帕累托非支配解集，并据此提取不同情景下的回归水替代比例区间。在回归水全盐量固定为 1.86 g/L 的模拟条件下，初始表观电导率为 2.5、3.0 和 3.5 dS/m 时，丰水年的可行替代比例分别为 23.9%-54.3%、27.5%-58.6%和 26.5%-55.2%；平水年分别为 33.0%-60.2%、34.9%-58.9%和 30.8%-61.4%；枯水年分别为 44.6%-56.7%、

46.1%-59.5%和 43.1%-63.7%。上述区间反映满足产量、脱盐和用水约束条件的方案包络，而非各情景下唯一或可直接套用的最优比例。

多目标优化结果仅适用于既定回归水水质、模型参数、土壤盐分检测口径和水文情景边界。实际应用中仍应以回归水实测水质、混合入田水盐分、耕层盐分变化和排盐条件为最终约束；当水质、土壤初始条件或灌排条件发生变化时，应重新校准或计算，不宜直接套用上述比例。

（二）技术经济论证，预期的经济效益

2024 年水稻不同生育期地上生物量组成见图 11。不同灌溉处理对水稻不同部位的生长具有显著影响。水稻的生物量组成主要由水稻的茎叶部分组成，相同处理中，黄熟期的水稻生物量最高。水稻经过一个生长季的生长，在黄熟期成熟、收获，水稻营养部位发育完全，穗重在黄熟期也达到最大，其中 T4 处理穗重最大，平均达到 6.90g/穗。不同灌溉处理之间对水稻的生长发育的影响也有很大差异。综合来看 T4 处理在各个生长阶段的生物量均高于其他处理；T2 处理由于灌溉水量不足，水稻出现生长发育滞缓的现象；T1 处理较 T3 处理虽有较高的灌溉水量，但生物量与 T3 处理相差不大，在黄熟期甚至略低于 T3 处理。

水稻平均产量及构成因素结果见表 9。两年田间试验数据表明，不同灌溉处理对水稻千粒重没有显著影响，对水稻有效穗数、穗粒数和产量有显著影响。各处理平均千粒重变化范围为 24.26 g-25.13 g，最大值最小值分别出现在 T1、T6 处理，穗粒数最大值最小值分别出

现在 T4（72.66 粒）、T2（53.58 粒），T2、T6 处理与其余处理存在显著差异；有效穗数最大值最小值分别出现在 T6(532.42 穗)、T2(467.72 穗)，T2 与其余处理存在显著差异；水稻平均产量大小顺序为：T3>T4>T1>T5>T2>T6。T3 处理水稻产量分别较 T1、T2 处理高 3.8%、17.3%，T4、T5、T6 处理水稻产量分别较 T3 低 0.4%、14.7%、20.6%。

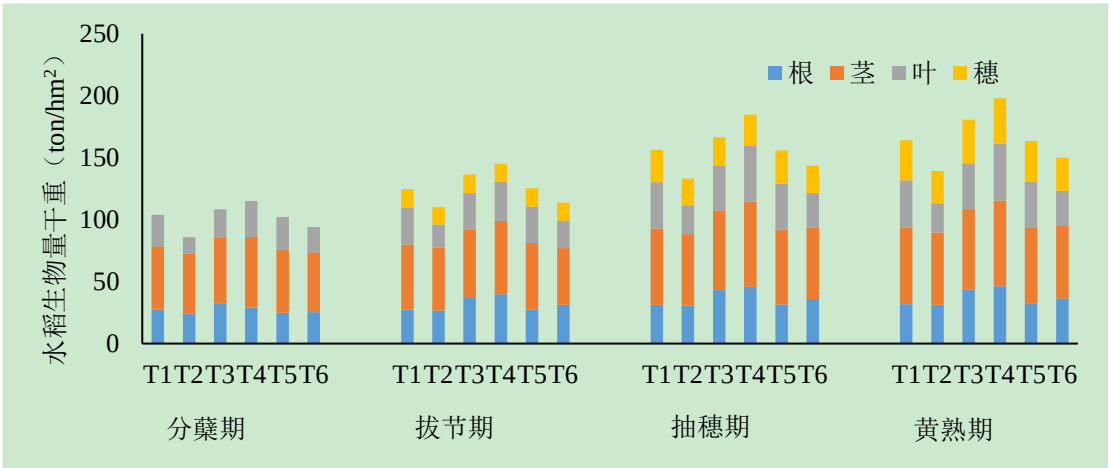


图 11 2024 年不同灌溉模式水稻生物量（干重）及其组成图
表 9 不同灌溉模式的产量结果及构成因素

处理	穗粒数（粒）	有效穗数（穗）	千粒重(g)	产量(kg/hm2)
T1	71.59±3.65	485.32±13.01	25.13±0.76	9142.48±346.87
T2	53.58±7.84	467.72±34.72	24.84±0.87	7859.5±537.39
T3	67.24±4.47	504.54±14.53	24.98±0.45	9503.06±313.49
T4	72.66±2.39	493.35±24.98	24.87±0.58	9467.11±592.16
T5	63.18±4.72	500.96±18.21	25.07±0.31	8107.58±435.69
T6	54.26±2.57	532.42±9.87	24.26±0.34	7542.95±458.91

不同灌溉模式平均可节约黄河水水量结果见表 10。平均可替代黄河水水量最大为 T3 处理，生产单位重量水稻可替代黄河水水量达到 0.79 m³/hm²，T6 处理平均可替代黄河水水量最小，仅有 0.41 m³/hm²，各处理平均黄河水替代率大小顺序为：T3>T1>T4>T5>T6。T3 处理平均单位可替代黄河水水量较 T1 升高 21.74%。2024 年度各处理单位产量可替代黄河水水量相较 2023 年均有增加，主要

是由于 2024 年增加了回归水在水稻全生育期灌溉水量中的占比，在保证水稻产量的前提下，变相提高了回归水的利用效率。

表 10 不同灌溉模式可节约黄河水水量

编 号	灌水总量 (m ³ /hm ²)	水稻单位产量 所需回归水水 量 (m ³ /kg)	水稻单位产量 所需黄河水水 量 (m ³ /kg)	水稻单位产量 可替代黄河水 水量 (m ³ /kg)	单位面积可替代 黄河水水量 (m ³ /hm ²)
T1	19067.85	1.42	0.54	0.71	6057.24
T2	13093.02	0.17	1.25	0	0
T3	16129.55	1.03	0.46	0.79	7374.10
T4	16051.31	0.8	0.71	0.55	5095.48
T5	15594.24	1	0.73	0.52	3810.72
T6	15341.24	0.98	0.85	0.41	2877.18

四、标准涉及的相关知识产权说明

无。

五、采用国际标准的程度与水平的简要说明，与现行有关法律法规和强制性标准的关系

（一）采用国际标准的程度与水平的简要说明

本文件未采用或等同采用国际标准。针对盐碱土区农业回归水安全利用与土壤控盐的实际需求，本文件在借鉴灌溉水质控制、淡咸水配比利用、农田水盐调控和风险管理等通行技术原则的基础上，结合我国盐碱土区水资源条件、灌排工程体系及水稻种植特点制定。

本文件以回归水安全利用为技术主线，规定回归水水质分级、土壤适宜性评价、灌排协同控盐、土壤水盐动态监测和效果评价等要求，具有较强的区域适用性和可操作性。

（二）与现行有关法律法规和强制性标准的关系

本文件符合《中华人民共和国标准化法》《中华人民共和国水法》

《中华人民共和国水污染防治法》《中华人民共和国土壤污染防治法》等法律法规关于水资源节约利用、水环境保护、农用地土壤保护和标准化工作的有关规定。

本文件与 GB 5084-2021《农田灌溉水质标准》、GB 15618-2018《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》等现行标准相衔接。回归水用于农田灌溉时，应首先满足相关强制性标准规定；本文件针对盐碱土区回归水水质波动、配水调控、耕层控盐和地下水风险等问题提出补充性技术要求，不降低现行法律法规和强制性标准的要求。本文件引用的地下水质量、灌排工程、灌溉定额、节水灌溉和土壤环境监测等相关标准，为回归水利用的监测、工程运行、计量核算和风险评价提供技术依据。相关标准更新时，应及时核验并采用现行有效版本。

六、重大意见分歧的处理经过和依据

无。

七、其他应予说明的事项

本文件为制定项目，技术内容主要依据回归水水质监测、水稻田间灌溉试验、土壤水盐动态观测、相关模型分析及现行标准调研结果提出。多目标优化模拟结果可作为不同水文年型、初始盐分和回归水水质条件下动态配比的技术论据，但不替代回归水实测水质准入、单次入田配比控制、耕层盐分监测和排盐条件评价等要求。本标准实施不以使用特定专利方法或装置为必要条件；如后续将相关专利技术纳入规范性条款，起草单位将按有关规定提供专利授权

证明、专利权人许可文件或必要专利声明。

本文件中的技术指标、监测频次和利用要求，应在后续征求意见、试验验证和技术审查过程中，结合不同区域的水质、土壤盐分、地下水条件和灌排能力进一步完善。