

中国农业绿色发展研究会团体标准 编制说明

《青稞抗旱节水种植技术规程》

（征求意见稿）

《青稞抗旱节水种植技术规程》编制组

二〇二六年二月

目 录

一、团体标准制修订背景、目的和意义.....	1
二、工作简况	2
三、标准编制原则和依据.....	3
四、标准主要条文或技术内容及其确定依据	4
五、主要试验、验证及试行结果	10
六、采用国际标准的程度及水平说明	20
七、与现行法律法规、强制性标准和其他有关标准的关系	20
八、重大分歧或重难点的处理经过和依据	20
九、贯彻该标准的要求、措施建议及预期效果	20
十、其他应说明的事项.....	21

《青稞抗旱节水种植技术规程》

一、团体标准制修订背景、目的和意义

1. 背景与产业现实

青藏高原水资源时空分布不均，农业用水波动大；国家与地方层面强化节水优先与粮食安全，强调农田灌溉水质与耕地土壤环境风险刚性约束（GB 5084-2021、GB 15618-2018）。青海等省“十四五”规划提出以节水灌溉和绿色发展为抓手提升旱作农业韧性。青稞是青藏高原最具适应性的粮食作物之一，是保障高原地区口粮安全与农牧民增收的关键作物。到 2021 年底，西藏青稞播种面积约 211.07 万亩、产量约 80.12 万吨，并形成“西藏青稞”区域公用品牌，产业链延伸明显。高原地区水资源时空分布不均、旱情频发，发展抗旱节水型栽培对稳产保供和绿色发展具有现实紧迫性。青藏高原青稞在海拔 4200 m~4500 m 农区占播种面积的 70%~90%，生态脆弱、资源约束更突出，迫切需要标准化的节水技术路径。现行通用栽培规范难以直接指导少水稳产。

2. 目的与意义

现有行业标准对青稞栽培有通则性要求 NY/T 4176—2022《青稞栽培技术规程》，但未形成抗旱节水主题化技术规程。本标准聚焦青藏高原青稞“减用水、保单产、稳品质”的目标，系统整合抗旱品种选育应用、节水灌溉制度、肥水耦合与农艺配套，形成可复制、可推广的技术规程，支撑绿色高质高效与标准化生产行动，落实《中华人民共和国农产品质量安全法》关于推进农产品标准化生产的要求。

3. 与学术与实践发展的契合

近年研究表明，与畦灌相比，青稞采用埋设滴灌在同等灌溉水平下可提高产量约 5.7%、水分利用效率约 11.9%；相较地表滴灌，地埋滴灌增产约 18.8%、提升水分利用效率约 14.2%，显示节水与稳产兼顾的潜力。在林芝等地，春青稞将全生育期土壤含水量控制在田间持水量的 65%~70%时，产量与水分利用效率综合最优，进一步印证了适度亏缺灌溉的可行性。

综上，编制团体标准，完善青稞抗旱节水技术体系，有利于提高资源利用效率、降低投入成本、提升产品质量与生态效益，具有显著的产业与社会价值。

二、工作简况

1. 任务来源

本标准为中国农业绿色发展研究会团体标准项目，遵循 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的起草与编排要求，围绕“抗旱节水”主题开展技术集成与条款设计。标准文本“前言”及“起草单位/起草人”信息见送审稿正文。标准起草单位为中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所、中国农业科学院作物科学研究所、西藏自治区农牧科学院。

2. 主要工作过程

2.1 立项与组织：根据研究会年度团标工作安排，明确研究方向、技术路线与时间节点，成立编制组并落实分工。工作过程严格对照进度。

2.2 实地调研与专家咨询：调研青藏高原（西藏、青海等）不同生态区青稞种植的水热条件与灌溉设施条件，收集滴灌、喷灌、补灌（雨养补灌）等节水措施在不同海拔区的适配性与经济性数据；就连作障碍、土壤盐分、灌溉水质与土壤环境风险控制等议题征询专家意见，并参照相关国家/行业/地方标准确定可操作性条款。

2.3 资料收集与文本编制：系统检索并比对青稞相关标准与研究进展，含 NY/T 4176—2022《青稞栽培技术规程》、GB/T 50363—2018《节水灌溉工程技术标准》、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，作为条款确定的重要依据

2.4 试验验证与示范汇交：整合“灌溉定额×氮素水平”“喷滴灌对比”“适度亏缺阈值”等既有试验或在田示范资料，补充开展必要的小范围验证。随机区组或裂区设计，观测苗期至成熟关键节点的土壤含水量、株高、穗粒数、千粒重、产量、灌溉量、降雨量与水分利用效率等。以“指标—处理—生态带—可操作参数区间”的结构，形成《验证结果提要》，为条款定量化提供依据。

2.5 意见征求与送审：面向行业主管、科研院所、推广部门与生产主体开展公开征求意见，并对反馈意见逐条整理，形成征求意见汇总处理表；在充分吸收意见基础上完善文本并形成送审稿。

3. 主要起草人及其分工

起草单位：中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所、中国农业科学院作物科学研究所、西藏自治区农牧科学院。

主要起草人：刘恩科、郭刚刚、梅旭荣、潘芑、金涛、彭君、陈朝燕、文璇。

在编制说明阶段，以上单位与人员分别承担总体框架设计、术语与技术路线论证、节水灌溉与肥水耦合条款起草、生态环境与投入品限制条款起草、送审材料整合等工作。

三、标准编制原则和依据

1. 编制原则

标准编制原则遵循《中华人民共和国标准化法》《中华人民共和国标准化法实

施条例》《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国农药管理条例》《国家标准管理办法》等法律法规和政策文件及有关国家标准、行业标准的规定，突出绿色化、减损耗、可复制、易操作；以“抗旱、节水优先、因区施策、农机农艺融合、风险可控”为总原则，兼顾科研先进性与生产实用性。同时，参考了国内已发布的同类标准和实际操作过程中的相关场景，使标准内容和指标更加符合实际应用，确保各要素的有关规定具有可操作性、可重复性和指导性。此外，标准文本简洁明了、文字表述准确，便于农技人员和生产者使用。最终，实现先进性和实用性的统一。

2. 编制依据

2.1 以国家标准和管理要求为依据规范制定。本标准依据国家标准 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求和规定起草制定。标准文本的编排采用中国标准编写模板 SET 2020 版进行排版，编制说明按照《中国农业绿色发展研究会团体标准暂行管理办法》的要求编写，确保标准文本和编制说明的规范性。

2.2 作物与投入品：NY/T 4176—2022《青稞栽培技术规程》、GB 4404.1—2024《粮食作物种子 第1部分：禾谷类》，NY/T 525—2021《有机肥料》、NY/T 394—2023《绿色食品 肥料使用准则》、NY/T 393—2020《绿色食品 农药使用准则》等。

2.3 水与土壤环境：GB/T 50363—2018《节水灌溉工程技术标准》、GB 5084—2021《农田灌溉水质标准》、GB 15618—2018《农用地土壤污染风险管控标准（试行）》。

2.4 以研究成果与实践经验为主要依据制定。起草工作组成员参与完成了国

国家重点研发计划政府间国际科技创新合作重点专项“旱地农业绿色高效节水关键技术与集成示范”在西藏地区开展了旱地非充分灌溉与水肥一体化技术研究，研究不同生育期水分亏缺及不同水肥处理下作物的产能及水分利用效率，完成以水肥耦合周年运筹关键技术参数研究工作，摸清青稞耗水规律，构建非充分水肥供应条件下的旱地绿色节水技术，形成了经第三方验证的技术规程 1 项，研究数据用于研发旱地水肥一体化运筹决策系统 1 套。项目成果应用获得农业技术推广成果一等奖 1 项。

1. 范围

根据国家标准 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》中“5.1 按内容划分”的规定，结合本标准的框架结构和内在关系，范围部分明确了本规程适用于青藏高原地区青稞的抗旱节水种植，确立面向青藏高原与类似生态带的区域适用性，同时兼容有灌区与雨养区两类场景。包括术语与定义、生产环境条件、品种与种子、土壤准备、栽培管理、收获与贮藏等。该结构与范围表述遵循 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》，并与送审稿前言一致。

2. 规范性引用文件

对于标准框架结构中已有相应的国家标准或行业标准的，直接引用相应的标准。此外，根据本标准内容的规范需要，引用相应的标准。本标准所引用的标准均为国家标准和行业标准，且现行有效。同时，引用要求均符合国家标准 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定。正文已列入 GB 4404.1—2024《粮食作物种子 第 1 部分：禾谷类》、GB/T 50363—2018《节水灌溉工程技术标准》、GB 5084—2021《农田灌溉水质标准》、GB

15618—2018《农用地土壤污染风险管控标准（试行）》、NY/T 4176—2022《青稞栽培技术规程》、NY/T 393—2020《绿色食品 农药使用准则》、NY/T 394—2023《绿色食品 肥料使用准则》、NY/T 525—2021《有机肥料》等。各文件为确定品种与种子质量、灌溉工程与水质、土壤环境风险、投入品选择与用量控制的重要依据。

3. 术语和定义

本标准中明确了旱区、青稞、雨养农业、灌溉农业、节水灌溉等术语，确保与工程、农艺与投入品标准的衔接，便于跨学科一致理解。

4. 产地环境

气候：依据 FAO-56 方法与区域气候资料，推荐用参考作物蒸散与作物系数方法开展水分需求估算，为灌溉制度提供参数化支撑。

土壤：依据 GB 15618—2018《农用地土壤污染风险管控标准（试行）》管控农用地土壤污染风险；同时建议结合有机质水平、质地与盐分状况进行配方施肥与灌溉制度设计。

环境空气：参考 GB 3095-2012《环境空气质量标准》及其修改单要求，结合高原地区空气清洁度现状，强调露天晾晒与仓储过程的清洁化管理。

5. 品种选择

抗旱品种筛选与应用：高寒干旱环境下，根系建成与早期耐旱性决定群体质量。鼓励选用通过区域试验验证、在高寒干旱区表现优良且经过国家或当地农业部门品种登记的青稞品种，注重早熟、抗倒伏、抗逆性与稳定性。

种子质量与处理：种子质量符合 GB 4404.1—2024《粮食作物种子 第1部分：禾谷类》。在高寒区，控温晾晒与适度药剂包衣可提升出苗整齐度并降低初

侵染。提倡拌种与适度浸种以促进齐苗、壮苗。确需药剂处理时，仅允许 NY/T 393—2020《绿色食品 农药使用准则》清单与用量范围内产品。

6. 播前土壤准备

深耕、耙耱保墒、基肥配施（有机肥优先、化肥减量增效）等措施，参考 NY/T 525—2021《有机肥料》与 NY/T 394—2023《绿色食品 肥料使用准则》，倡导有机肥为主、化肥为辅的投入品结构。打破犁底层与表土保墒并举，可提高土壤蓄水与根系下扎；基肥以配方施肥为主，严控氮素前移。

NY/T 4176—2022《青稞栽培技术规程》概述青稞栽培的整地、轮作、测土配方施肥等原则；灌溉工程层面需符合 GB/T 50363—2018《节水灌溉工程技术标准》有关节水灌溉设施与运行管理的通用要求。在高原区，整地质量直接决定播深一致性与出苗整齐度；滴/微灌布局需与主干支管、水源水质匹配。收获后及时浅耕灭茬、秋翻（或春耙）保墒。

7. 栽培管理

7.1 播期与播量：按高原不同海拔与温光条件分区确定；与雨养/补灌/灌溉系统匹配，兼顾机械化作业窗口。条播为主、行距 20 cm~25 cm、播深 3 cm~5 cm，镇压保墒；基本苗目标 20 万株/666.7 m²~22 万株/666.7 m²，及时查苗并补种，催芽以提齐度。

NY/T 4176-2022 规定播期、播深、播量的区域化建议。春青稞宜在地表 5 cm 土温≥3 °C~5 °C、墒情适宜窗口抢墒播种；过浅易“吊根”，过深推迟出苗。春青稞以当地多年平均终霜后累计≥5 °C活动积温稳定上升期为宜；遇春旱以见墒抢播为主。

7.2 节水灌溉技术选择：优先滴灌（含覆土浅埋滴灌）与喷灌，雨养区视墒

情补灌；工程设计与运行指标遵循 GB/T 50363—2018《节水灌溉工程技术标准》。

灌溉时期与定额：结合研究与地方标准，建议拔节—抽穗—灌浆为关键期，采用适度亏缺策略；将全生育期土壤含水量控制在田间持水量的 65%~70%时综合效益较优，在埋滴条件下较畦灌提高水分利用效率与产量。实际执行应结合蒸散、土壤水分与降雨滚动修正。

相关行业/地方规范对旱作禾谷类播后管理多强调“镇压保墒、查苗补缺、封闭除草、风沙防护”。青海地方标准《柴达木盆地青稞滴灌栽培技术规范》在播后阶段提出及时镇压与覆土保墒、灌溉阈值控制、封闭除草时机等要点；FAO-56 提出基于参考蒸散（ E_{To} ）与作物系数（ K_c ）的蒸散需水核算方法，用于指导播后墒情管理与灌水判据设定。青稞属春性作物，出苗期对土壤表层失水极为敏感，播后 24 h~72 h 完成镇压、破除表土毛细管并减少蒸发，能显著降低播后失墒风险；在高寒多风区，风蚀/沙埋与昼夜温差大使表土结皮、壅根风险上升，需“镇压+轻度表土松动”的组合管理，以及按 $E_{To} \times K_c$ 滚动核算的“微量补灌”策略以保苗齐全。播后 24 h 内完成镇压；播后 3 d~5 d 查苗补缺；当 0 cm~10 cm 土层体积含水率低于播前的 85%或田间持水量的 60%时，实施小水轻灌或滴灌脉冲补水；播后 5 d~7 d 内择机封闭除草 1 次（遇风沙及时加设防护网或秸秆覆盖）。

西藏/青海等地青稞蒸散与需水研究提示春青稞在分蘖—拔节、抽穗—灌浆期对水分最敏感；2024 年藏区青稞水氮优化试验报道氮的效应强于灌水量，但合理灌水能显著提升水分生产率。在水资源约束下，采用适度亏缺灌溉于非临界期、关键期实现满需，可在产量与水分生产率间取得均衡。

阈值与下限：苗期与分蘖期灌水下限 \approx 田间持水量（FC）的 55%~60%；拔节—抽穗、灌浆期 \geq 65%~70% FC；非关键期允许轻度亏缺（55%~60% FC）。有滴

灌条件者优先小水高频，灌后表层不积水。

7.3 追肥与病虫害：肥料遵循 NY/T 394—2023《绿色食品 肥料使用准则》；农药（含除草剂）选用与施用遵循 NY/T 393—2020《绿色食品 农药使用准则》，并强调以农业与物理防控为主，化学防控为辅。

行业/地方规范强调苗期中耕、化控防倒、分蘖/拔节关键期追肥；GB 5084—2021《农田灌溉水质标准》用于约束灌溉水水质；GB 15618—2018《农用地土壤污染风险管控标准（试行）》规范土壤污染风险控制。青藏高原光照强、昼夜温差大，氮素前移过量易旺长与倒伏，宜控上促下、稳分蘖控株高。水质与土壤安全：灌水水质满足 GB 5084—2021《农田灌溉水质标准》；耕地质量与重金属风险符合 GB 15618—2018《农用地土壤污染风险管控标准（试行）》相关限值。

青稞主要病害以网斑病、锈病、白粉病等为主，虫害以蚜类、粘虫等为主；农药使用须符合绿色/合理用药通则。高海拔冷凉区病虫谱较为集中，宜抗病品种和绿色防控优先。农业防治：合理轮作、清茬深翻、播前精选良种与拌种；提高播种质量、控制群体密度；监测与阈值：建田间监测点，锈病初犯、蚜量达阈即开展统防统治；绿色技术：诱虫板/灯、性诱、天敌释放与生物农药优先；科学用药：遵循“应急+精准+减量”原则。

7.4 收获与贮藏：分蜡熟末期人工收获与完熟期机械收获；贮藏前清选干燥、洁净储放，满足水分安全与防霉防虫要求。裸大麦（青稞）产品质量与贮藏需参照谷物相关国家标准；水分测定采用 GB/T 5497—1985《粮食、油料检验 水分测定法》方法；贮藏与安全水分控制参照国家粮油储藏通用规范与品类规则（同类谷物规则/方法标准）。高寒区昼夜温差大、后熟快；机收含水率控制直接影响碎粒率与后续干燥成本。乳熟末—蜡熟收获，机收目标粒水分一般 $\leq 18\% \sim 20\%$ ，入

库前干燥至安全水分（按用途与地方规范执行，原则上 $\leq 13\%$ ）；水分检测执行 GB/T 5497—1985《粮食、油料检验 水分测定法》；贮藏设施具备通风与防潮条件，按谷物安全贮藏通用要求管理。

五、主要试验、验证及试行结果

青稞非充分灌溉在西藏自治区拉萨（北纬 29°38，东经 91°01，海拔 3662 m）西藏农牧科学院进行。该地区属高原温带季风半干旱气候，近 30 年平均降水量 426.5 毫米，气温 8.0 °C。该地区青稞生长时间为 5 月~9 月，2022 年和 2023 年的青稞生长季内积温分别为 2685.6 °C和 2557.43 °C。本试验地地表前 30 cm 左右为回填土（在原来地表基础上进行回填），试验开始时测定了土壤的理化性质，0 cm~20 cm 土层的平均容重为 1.39 g cm⁻³，平均田间容量为 28.4% (cm cm-3)，pH 值为 7.67。其他化学性质如有机碳、全氮、全磷和全钾分别为 18.61 g/kg、2.23 g/kg、1.4 g/kg、5.75 g/kg。

试验布设于遮雨棚下，分别在青稞营养生长阶段（拔节至抽穗期）、生殖生长阶段（开花至灌浆期）进行调亏处理，其中拔节至抽穗期按 100 mm、140 mm 和 180 mm 的灌水定额灌溉；开花至灌浆期按 40 mm、80 mm 和 120 mm 的水平灌溉。苗期和成熟期不做水分调亏，各处理均按苗期 20 mm，成熟期 30 mm 的灌水定额灌溉。本试验实际灌水量如表 1 所示：

表 1 试验处理表

实验年	处理	苗期	拔节-抽穗	开花-灌浆	成熟	总灌水
		(mm)	期(mm)	期(mm)	期(mm)	量 (mm)
2022	Z1	25.1	138	123.4	34.2	320.7
	D1	22.8	105.5	121.1	35	284.4
	Z2	21.7	179	80.2	38.5	319.4
	D2	23.3	181.4	43.3	37	285
	FC	22.5	182.5	122.5	32.5	360

	Z1	23.5	140.9	121.3	32.7	318.4
	D1	21.2	98	125.6	35.8	280.6
2023	Z2	22.5	177.5	86	33.5	319.5
	D2	19.2	180.1	47.9	30.5	277.7
	FC	23.8	178.4	123.7	29.2	355.1

青稞供试品种为“藏青 2000”，是西藏地区典型抗旱早熟品种，2022 年 7 月 25 号播种，11 月 6 号收获，2023 年 5 月 22 号播种，9 月 4 号收获，青稞生育期详见支持文件。试验采用完全随机区组试验设计，共 5 个处理，重复 3 次，共 15 个小区。小区面积 $2.8 \times 3 = 8.4 \text{ m}^2$ ，四周设保护行，各小区边缘起 30 cm 的垄。各小区种植青稞 14 行，每行长 3 m，播种行距 20 cm，播量为 $15 \text{ kg}/666.7 \text{ m}^2$ 。灌水方法为滴灌，滴头额定流量 3 L/h，滴口间距 30 cm，通过水压力表控制灌水量，即控制额定压力下每个滴头出水时间。采用一管两行的方式布设于田间。

1. 不同灌溉量下青稞的耗水特性

不同生育期青稞土壤含水率的变化如图 1 所示。在青稞生长季内，苗期末，抽穗期末，灌浆期末和收获后的不同土层土壤含水率分别在 9.64%~17.68%，4.83%~20.3%，6.8%~19.19%和 5.76%~16.38%之间变化。在苗期末,两年土壤含水率均随土层的加深而逐渐降低，但处理间无显著差异。拔节末 0 cm~60 cm 土层的最小 SWC 为 D1,2022 年比 FC 低 28.25%，2023 年比 FC 低 24.74%(图 62)。在抽穗末，两年土壤含水率在不同处理间均按 $Z1 < D2 < D1 < Z2 < FC$ 的顺序排列，其中 Z1 较 FC 处理低 15.84%（2022）和 16.42%（2023）。在 2022 年和 2023 年成熟期，除 2023 年 0 cm~20 cm 土层外，其余土层的 SWC 均无显著差异。

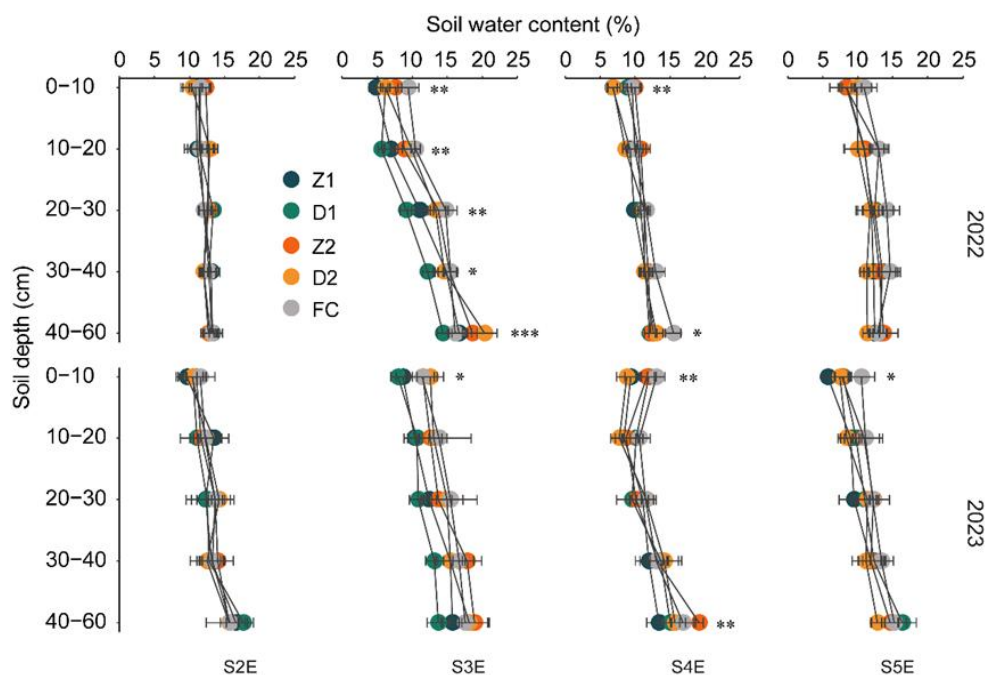


图 1 2022 年和 2023 年不同处理对青稞土壤含水量的影响

Z1, D1, Z2, D2 和 FC: 拔节至抽穗期中水, 拔节至抽穗期低水, 开花至灌浆期中水, 开花至灌浆期低水和全生育期高水。“T”形条表示差异最不显著($p < 0.05$), 符号*、**和***分别表示差异在 0.05、0.01 和 0.001 概率水平上的显著性。

不同滴灌方式下青稞土壤储水情况如图 2 所示。方差分析表明, 青稞生长中后期不同处理间差异显著。在 2022 和 2023 的 S2E 时期, 土壤储水量最大出现在 D1 处理中 (2022 年为 110.6 mm, 2023 年为 121.3 mm,), 最小在 D 处理中 (2022 年为 108.5 mm, 2023 年为 119.1 mm,) 但各处理间无显著差异 ($p > 0.05$)。在 S3E 时期, 土壤储水最小在 D1 处理中 (2022 年为 92.1 mm, 2023 年为 103.4 mm,), 且与 Z2, D2 和 FC 呈显著差异 ($p < 0.05$)。在 S4E 时期, 2022 年 FC 土壤储水较 Z1, D1, Z2 和 D2 处理分别高 19.38%, 14.15%, 9.97%和 16.43%, 且差异显著 ($p < 0.05$), 而 2023 年土壤储水最高分别出现在 Z2 (121.5), 其次为 FC 处理 (120.4), 但两处理间无显著差异。S5E 时期, 土壤储水量年际间变化基本一致, 由小到大均按 $D2 < Z1 < Z2 < D1 < FC$ 的顺序排列, 且 FC 与 D2 呈差异显著 ($p < 0.05$)。

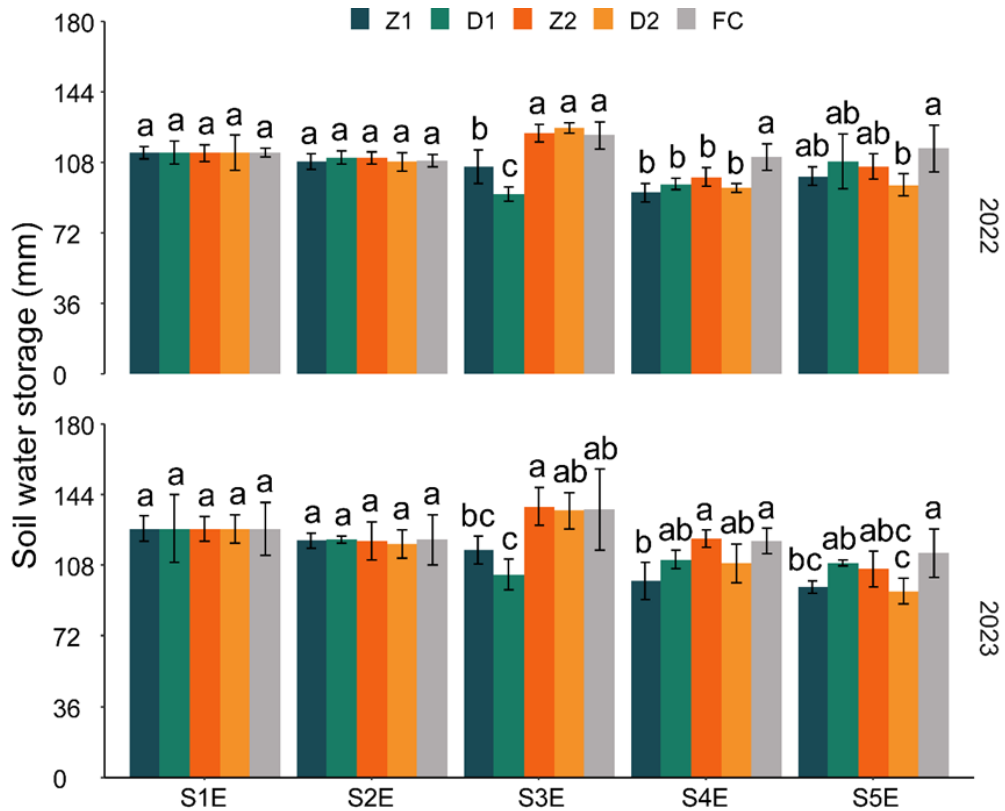


图 2 2022 - 2023 年不同滴灌方式下土壤储水量

2. 青稞产量及其水分利用效率

不同滴灌处理下青稞耗水量如图 3 所示。随着生育期的推进，青稞阶段耗水量均呈“先升高后降低”的趋势，且最高均出现在 S3 阶段（除 2023 年 D1 处理外）。总体来看，S3 阶段各处理间存在显著或极显著差异（ $p<0.01$ 或 $p<0.001$ ），且 FC 处理的阶段耗水量较其他处理大 1.96%~36.85%（2022）和 2.89%~101.8%（2023）。与 S3 变化不同，S4 阶段两年土壤储水量均呈 $D2<Z2<D1<FC<Z1$ ，各处理间差异显著。青稞总耗水量在不同处理间也存在显著差异（表 1），方差分析表明，2022 年与 2023 年青稞总耗水量变化相似，随着灌水量的增加，青稞耗水量也逐渐增加，且 2022 年 FC 处理耗水量较 Z1, D1, Z2 和 D2 分别显著高 7.59%, 23.92%, 9.68% 和 18.57%, 2023 年 FC 处理耗水量较 Z1, D1, Z2 和 D2 分别显著高 5.56%, 23.25%,

8.05%和 18.74 %。

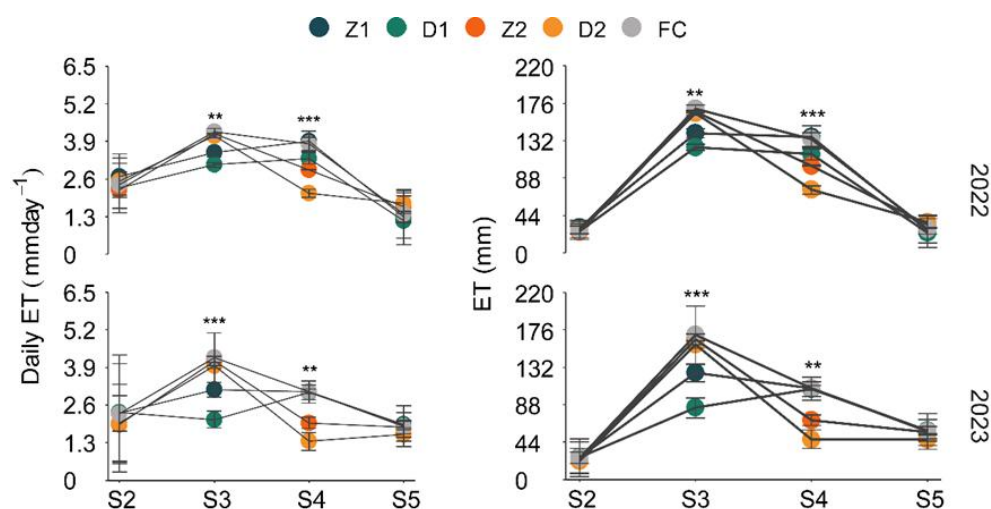


图 3 不同滴灌处理下青稞耗水量

不同滴灌处理下青稞日耗水量、产量和水分利用效率如表 2 所示。随着生育期的推进，2022 年度青稞日耗水强度呈“先升高后降低”的趋势，其中 Z2、D2 和 FC 处理最大值均出现在 S3 阶段（各差异显著），分别为 4.16 mm/day，4.1 mm/day 和 4.24 mm/day，Z1 和 D1 处理最大值出现在 S4 阶段（各差异极显著），分别为 3.9 mm/day 和 3.23 mm/day。与 2022 年度青稞日耗水强度变化趋势不同，2023 年 Z1、Z2 和 FC 处理青稞日耗水强度随生育期的推进逐渐升高，S3 达最大（分别为 3.12 mm/day、4.12 mm/day 和 4.24 mm/day），然后逐渐降低。D2 处理日耗水强度随时间变化趋势与此不同，呈“增-降-增”的趋势，最高出现在 S3 阶段（3.97 mm/day）。

两年青稞产量变化基本一致，均随灌水量的增加而升高。方差分析表明，FC 处理产量最高，且显著高于 D1 处理（ $p<0.05$ ）。值得一提的是，尽管 Z1、Z2 和 D2 处理较 FC 处理小 0.47%~1.33%、8.2%~9.4%和 12.56%~14.6%，但 4 个处理间无显著差异（ $p>0.05$ ）。与产量变化不同，WUE 最高均出现在 Z1 处理中（2022 和 2023 年分别为 15.3 kg/ha/mm 和 15.09 kg/ha/mm），其次为 D2 处理（2022 和 2023 年分

别为 14.84 kg/ha/mm 和 14.68 kg/ha/mm，两年 WUE 最小分别出现在 FC 和 Z2 处理处理中（分别较 Z1 小 6.54%和 6.03%），但各处理间无显著差异。

表 2 不同水分处理青稞总耗水量、产量与 WUE

实验年	处理	总耗水 (mm)	产量 (kg ha ⁻¹)	WUE (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
2022	Z1	332.67±36.39b	5092.01±490.33a	15.3±1.15a
	D1	288.85±28c	4175.71±392.37b	14.46±1.09a
	Z2	326.33±14.61b	4696.48±488.38ab	14.4±1.04a
	D2	301.43±40.25c	4473.55±883.59ab	14.84±1.82a
	FC	357.94±18.68a	5115.97±186.33a	14.3±1.15a
2023	Z1	348.07±12.97ab	5246.76±939.91a	15.09±2.4a
	D1	298.1±27.59c	4351±815.83b	14.68±1.29a
	Z2	340.05±32.34b	4817.55±107.53ab	14.18±1.2a
	D2	309.44±35.84c	4541.01±290.71ab	14.68±1.39a
	FC	367.42±47.2a	5317.22±511.51a	14.45±0.64a

将不同水分处理的干物质模拟值与实际观测的干物质质量进行比较，可得线性方程 $y=kx$ （ k 表示模型准确度）（图 4）。结果表明， K 值在 0.9511~1.0198 之间变化，通过与 $y=x$ 作比较，发现除 2023 年 D2（ $p=0.02$ ）与 FC（ $p=0.0004$ ）处理外，其他处理的 K 值与 1 均无显著差异，表明模型拟合能力较好。不同灌溉处理青稞地上部干物质随积温的动态积累过程如图 5（2022），图 6（2023）所示。根据 Richards 模型预测，两年青稞干物质积累最大值均出现在 FC 处理中，分别为 15 290 kg /ha 和 15 430 kg /ha，且较其他处理高 6.47%~22.89%（2022）和 7.26%~22.36%（2023），其次为 Z1 处理，分别为 14 300 kg /ha 和 14 310 kg/ha。

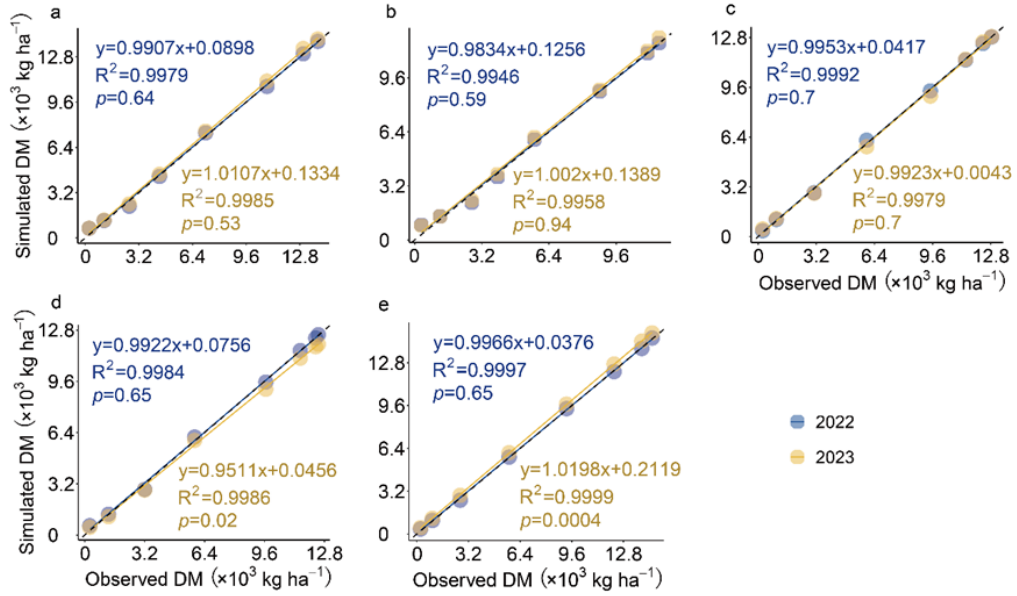


图 4 不同水分处理的干物质模拟值与实际观测干物质质量

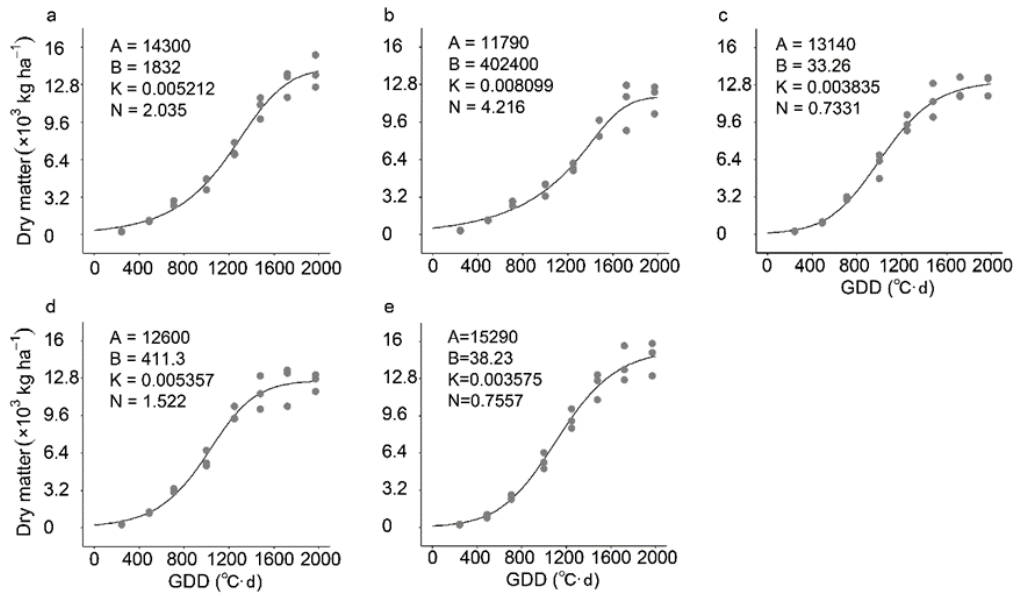


图 5 2022 年不同灌溉处理青稞干物质动态变化情况

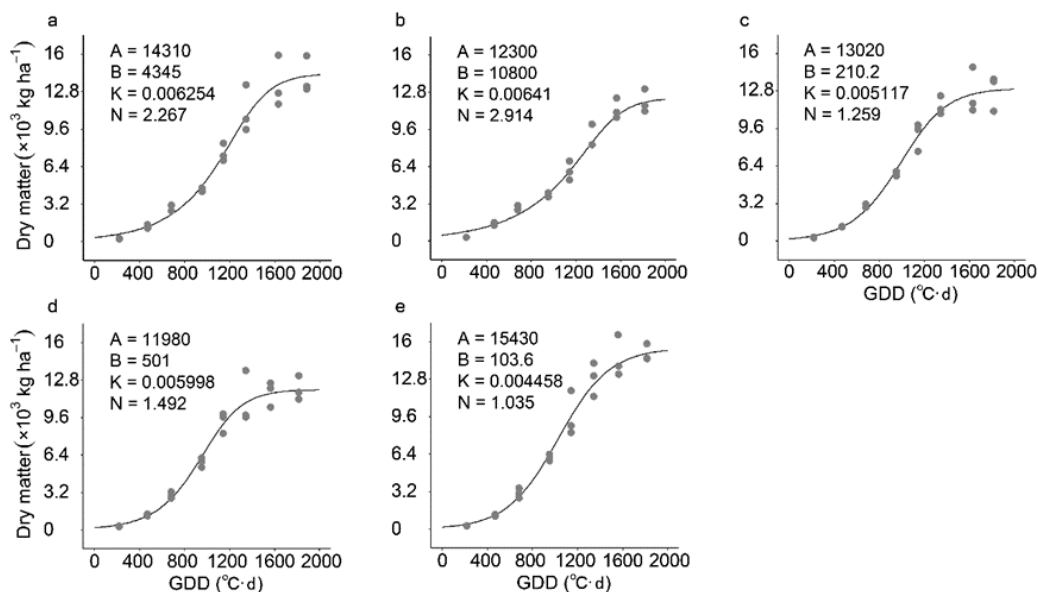


图 6 2023 年不同灌溉处理青稞干物质动态变化情况

图 7 表示 2022 年 (a) 与 2023 年 (b) 不同水分处理青稞干物质积累速率的变化情况。青稞生长速率基本呈“先增后降”的趋势，且除了 Z2 和 D2 外，最大生长速率随灌水量的增加而升高，其中 FC 处理的青稞最大生长速率较其他处理高 1.44%~19.48% (2022) 和 4.68%~34.89% (2023)，2022 和 2023 所对应的积温也分别达到了 1097.55 °C/d 和 1033.23 °C/d。

4 个处理中，FC 处理的 GRave 最高，且较其他处理高 3.55%~29.17% (2022) 和 8.01%~41.27% (2023) (表 3)。此外，拔节期水分亏缺处理 (Z1, D1) 达最大生长速率时的积温较其他处理大 18.92%~42.33% (2022) 和 16.97%~32.2% (2023)，渐增阶段 Z1 和 D1 所需的积温也较其他处理高 29.7%~74.63% (2022) 和 29.02%~38.61% (2023)，表明 Z1, D1 处理青稞前期生长需要更大的积温才能达到最大生长速率。

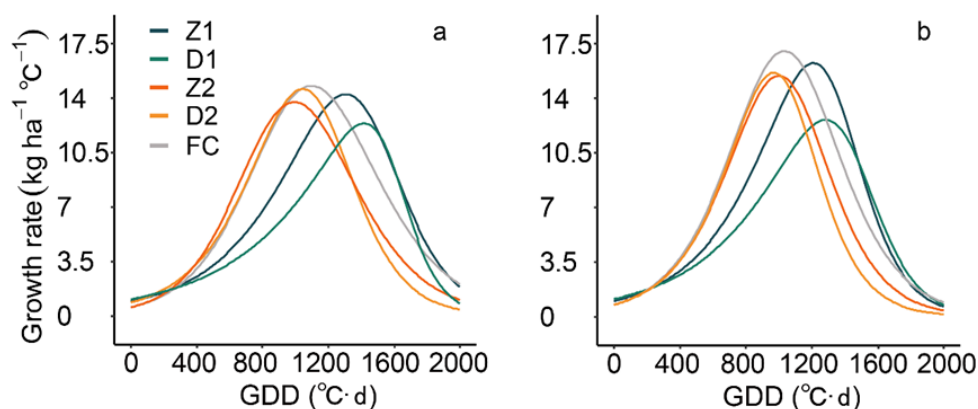


图 7 2022 年 (a) 与 2023 年 (b) 不同水分处理青稞干物质积累速率的变化情况

表 3 2022 年和 2023 不同水分处理青稞生长速率参数

实验年	处理	生长速率参数				
		Tmax	GRmax	GRavg	t1	t2
2022	Z1	1305.19	14.23	9.24	1003.12	1607.27
	D1	1415.77	12.37	7.68	1174.19	1657.34
	Z2	994.74	13.73	9.22	672.38	1317.1
	D2	1045.23	14.57	9.58	773.43	1317.03
	FC	1097.55	14.78	9.92	749.75	1445.34
2023	Z1	1208.56	16.25	10.49	949	1468.12
	D1	1282.02	12.61	8.02	1009.42	1554.63
	Z2	1000.14	15.44	10.22	728.76	1271.53
	D2	969.74	15.64	10.29	728.23	1211.25
	FC	1033.23	17.01	11.33	735.56	1330.9

3. 调亏灌溉对土壤含水率及土壤储水量的影响

土壤含水率在覆盖、耕作和灌溉等农田管理措施因素的作用下表现出较强的时间尺度和空间尺度异质性。本研究发现，在 S2E 时期（未作灌水处理），不同处理间土壤含水率在两个实验年均无显著差异，且随土壤深度的增加基本呈逐渐升高的趋势。本研究发现，在 S2E（拔节期末）时期，2022 年的各土层土壤含水率在不同

处理间呈显著或极显著差异，而 2023 年除 0 cm~10 cm 土层各处理间差异显著外，其他土层各处理间无显著差异。这说明同样的试验处理同一生育期在不同年份间变化并不一致，这一现象在 S4E 和 S5E 阶段也观察到。这可能是由于播种时间不同，导致 2022 年和 2023 年青稞同一生育阶段空气温度不同，这影响了青稞的蒸腾和地面蒸发，最终导致土壤水分变化不同。

土壤储水量受灌溉影响最大。本研究发现，S2E 时期两年的土壤储水量在不同处理间均无显著差异，而在 S3E（控水阶段），Z2、D2 和 FC 均显著高于 Z1 和 D1 处理土壤储水量，即灌水多，土壤储水量也相应高。而在 S4E 阶段，两年试验期 D1 较 Z1 高 5.6%和 8.4%，即尽管 Z1 和 D1 恢复相同的供水，但中水处理的土壤储水量要小于低水处理，这可能是由于在 S3E 期亏水处理影响了 Z1 和 D1 处理的青稞生长，但由于“缺水补偿效应”，导致 S4E 时期灌溉相同水量后 Z1 处理的青稞恢复生长程度更大，为了增加的腾发量而消耗了更多的土壤储水。此外，尽管 S4E 时期 Z1，D1 与 FC 处理灌水量相同，但 Z1，D1 土壤储水量任较 FC 小 1.25%~12.5%，这可能是由于尽管 FC 处理的青稞生长更加旺盛，耗水更多，但 S3E 时期灌水多，土壤水分在该阶段并未完全蒸腾蒸发掉，多余的这部分水在计算土壤储水量时算到 S4E 阶段，导致 S4E 时期土壤储水量增大。在 S5E 时期，所有处理灌水相同，但 Z2 与 D2 的变化却仍然表现为中水处理的土壤储水量要大于低水处理，这与 Z1 与 D1 在 S4E 时的变化相反，这可能是由于尽管 S5E 时期青稞生长也存在“缺水补偿效应”，但由于该时期气温已经降低，水分不再是影响青稞生长的主要因素，导致灌水量的增多使土壤储水量也相应增大。

选址位于西藏拉孜县的“藏西旱地农业科学试验站”为核心示范基地，已完成青稞绿色集雨技术、非充分灌溉等技术体系的示范验证工作，并开展了建立

抗旱棚、旱作测坑以及配套晒场、深井泵房、仓储用房、加工厂房等基础设施基地建设工作。建立核心示范区 300 亩。示范区水分利用效率提高 0.15 kg/mm/666.7 m²，氮肥利用效率提高 5%。基于公开发表的高原青稞需水、蒸散及水氮互作研究，春青稞在拔节—抽穗、灌浆期对水分敏感度高，关键期保证供水、非关键期适度亏缺，可在不显著损失产量的前提下提升水分生产率；本标准据此设置分期阈值与灌水比例，并通过地方规范与生产经验加以校核，适用于青藏高原及相似生态带的春青稞主产区。

六、采用国际标准的程度及水平说明

无。

七、与现行法律法规、强制性标准和其他有关标准的关系

与 NY/T 4176—2022《青稞栽培技术规程》：本标准参考常规栽培通用技术要点，并在抗旱节水方面细化形成针对青稞生产中的抗旱节水种植需求，适用于青藏高原地区青稞的种植生产规范，指导种植户及相关农业生产单位采用科学的抗旱节水种植技术，提高青稞生产的产量和韧性。

与环境与质量安全标准：灌溉水水质执行 GB 5084—2021《农田灌溉水质标准》，耕地土壤风险执行 GB 15618—2018《农用地土壤污染风险管控标准（试行）》；粮食水分检测与贮藏管理参照相关通用标准。

八、重大分歧或重难点的处理经过和依据

本标准制定过程中，未出现重大分歧意见和重难点。

九、贯彻该标准的要求、措施建议及预期效果

本标准发布实施后，建议中国农业绿色发展研究会和标准起草单位要不定期组织开展技术培训，特别是要安排基层农业技术推广人员和青稞种植大户等参加

培训，提高大家对标准的理解，并达成共识，进一步提高标准的可操作性，促进标准的有效实施。同时，注意收集标准应用过程中发现的不足问题，为今后标准的修订工作提供依据。此外，拓展标准培训形式，通过线上线下相结合的方式发放（发送）标准文本、开展专家解读及现场指导，进一步规范我国青稞种植抗旱节水技术的标准化和绿色化生产，切实提升我国青稞产量及气候韧性，节约当地有限水资源，增加当地人民群众收入，促进我国青稞种植产业的高质量发展。

十、其他应说明的事项

无。

参考文献

- [1] Wang S., et al. Optimizing Irrigation and Nitrogen Fertilizer Regimes to Improve Yield and Water Use Efficiency in Tibetan Barley in the Tibetan Plateau. *Agronomy*, 2024, 14(8):1775.
- [2] Shi X., et al. Effects of Water Deficit on Water Use and Yield of Spring Highland Barley. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (English edition)*, 2016.
- [3] 蒙强, 刘静霞, 罗玉峰, 等. 土壤水分下限控制灌溉对春青稞农田耗水特性及产量的影响. *节水灌溉*, 2020(2):17 - 21.
- [4] Liu Z F, Yao Z J, Yu C Q, Zhong Z M. Assessing crop water demand and deficit for the growth of spring highland barley in Tibet, China[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2013, 12(3): 541 - 551.
- [5] Du T S, Kang S Z, Sun J S, Zhang X Y, Zhang J H. An improved water use efficiency of cereals under temporal and spatial deficit irrigation in north China[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(1): 66 - 74.
- [6] 国家市场监督管理总局/国家标准化管理委员会. GB 4404.1—2008 粮食作物种子 第1部分: 禾谷类. 2008
- [7] 生态环境部/国家市场监督管理总局. GB 15618—2018 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准. 2018
- [8] 国家市场监督管理总局/国家标准化管理委员会. GB 5084—2021 农田灌溉

水质标准. 2021

[9] 住房和城乡建设部. GB/T 50363—2018 节水灌溉工程技术标准. 2018

[10] 农业农村部. NY/T 4176—2022 青稞栽培技术规程. 2022

[11] 中国绿色食品发展中心/农业农村部. NY/T 393—2020 绿色食品 农药使用准则. 2020

[12] 中国绿色食品发展中心/农业农村部. NY/T 394—2023 绿色食品 肥料使用准则. 2023

[13] 国家市场监督管理总局/国家标准化管理委员会. GB/T 5497 粮油检验 水分测定.

[14] 中华人民共和国农业农村部种植业管理司. 粮食作物重大病虫害绿色防控技术方案.