



杨慧莹,王宇先,高盼,等.黑龙江省西部风沙半干旱区浅埋滴灌技术对大豆产量和水分利用效率的影响[J].黑龙江农业科学,2025(4):18-24.

# 黑龙江省西部风沙半干旱区浅埋滴灌技术对大豆产量和水分利用效率的影响

杨慧莹,王宇先,高盼,徐莹莹,张巩亮,闫锋,董扬,申惠波

(黑龙江省农业科学院 齐齐哈尔分院,黑龙江 齐齐哈尔 161006)

**摘要:**为了有效提高黑龙江省西部风沙半干旱区大豆产量,提升水分利用效率,设置常规喷灌和浅埋滴灌两个灌溉处理,选用两个大豆主栽品种,通过田间小区试验,优化大豆全生育期水分利用效率并提升产量。结果表明,浅埋滴灌可以满足大豆关键生育时期的水分需求。浅埋滴灌通过水分分次供给,能够增加大豆群体效应。对比常规喷灌,浅埋滴灌能够使大豆齐农7号单株荚数、单株粒数和产量分别提高27.71%、34.87%和25.30%,使黑农531单株荚数、单株粒重、单株粒数、百粒重和产量分别提高25.09%、38.04%、52.97%、11.45%和24.68%;浅埋滴灌对比常规喷灌使水分利用效率提高26.02%~26.87%,灌溉水利用效率提高了27.30%~27.93%。浅埋滴灌通过多次少量水分供应,优化大豆植株群体性状,提升产量性状,进而提升了水分利用效率和灌溉水利用效率。

**关键词:**黑龙江省;浅埋滴灌;大豆;水分利用效率;产量

中国地域广阔,水资源的不均衡分布导致了农业区域发展的不平衡。黑龙江省,作为中国的主要粮食生产省份,拥有广阔的耕地面积,并包含多个积温带和气候类型区,主要表现为典型的中温带大陆性气候。该省西部地区主要是风沙半干旱区,特点是雨热同期,但水资源的时空分布不均,季节性差异显著。大豆作为一种C<sub>3</sub>作物,其全生育期的耗水量较大,且在不同生育阶段耗水量存在差异。因此,采用合理的灌溉技术对于减少大豆生产用水、提高水分利用效率、保障区域农业用水安全具有重要意义。大豆是全球第四大种植作物,也是中国种植面积和产量最高的豆类作物,它不仅是重要的饲料作物,也是重要的工业原料。大豆产能的提升已成为影响中国油料供应、粮食安全、畜牧业发展和高附加值产品产业发展的关键因素。因此,确保大豆产量的稳定和产能的提升对于保障中国的粮食安全具有重要的战略意义。黑龙江省的大豆产量位居全国第一,2022年全省播种面积达到493.2万hm<sup>2</sup>,占全省粮食作物播种面积的32.42%。然而,黑龙江省大豆种植普遍采用喷灌或漫灌方式,导致农业灌溉用水量较大。因此,滴灌技术不仅能提高大豆的水分利用效率,还能促进大豆生产的高产高效,对促进

区域农业的可持续发展具有重要意义。

水分利用的平衡是大豆高产高效的关键因素之一。前人对大豆不同生育时期的水分需求进行了研究,而不同灌溉方式对大豆耗水、水分利用效率和需水规律的研究也有许多报道<sup>[1-4]</sup>。产量、水分利用效率与耗水量之间存在二次抛物线关系<sup>[5]</sup>,在一定灌水量范围内,大豆的产量及水分利用效率随着灌水量的增加而增加<sup>[6]</sup>,特别是在大豆的分枝期和鼓粒成熟期,灌溉量的减少会明显影响产量<sup>[7]</sup>。大豆的总投入随着滴灌量的增加而增加,对纯收益和投入产出比也有一定影响<sup>[8]</sup>。赵育恒<sup>[9]</sup>利用TOPSIS模型计算出大豆经济效益和水分利用效率的不同优化方案。目前,大多数研究集中在常规灌溉和雨养灌溉上,而关于黑龙江省西部风沙半干旱区采用浅埋滴灌措施对春大豆全生育期土壤水分利用规律与经济效益相关性的综合研究则较为罕见。本研究基于两年的大田试验,设置不同的灌溉处理和品种对比,测定土壤含水量、贮水量、大豆产量及水分利用效率等指标,分析大豆产量和水分利用效率,旨在明确黑龙江省西部风沙半干旱区大豆生产的适宜灌溉方式,为该地区大豆节水栽培提供科学依据。

收稿日期:2024-11-18

基金项目:黑龙江省农业科技创新跨越工程(CX23GG11,CX23JC06);国家农业环境齐齐哈尔观测实验站(NAES058AE10);齐齐哈尔市科技计划创新激励项目(CNYGG-2023024)。

第一作者:杨慧莹(1984—),女,硕士,助理研究员,从事农业环境研究。E-mail:kikyo\_young@163.com。

通信作者:申惠波(1974—),男,学士,研究员,从事作物耕作栽培研究。E-mail:13936641617@163.com。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院科研实验基地进行,属于温带大陆性季风气候,雨热同期,昼夜温差大。降水主要集中在7月—9月。2023年4月—10月降水量540.4 mm,年平均气温4.4℃,生育期内最高温度为33.7℃,最低温度为3.0℃,日照时数1390.08 h;2024年4月—

10月降水量559.6 mm,生育期内最高温度为34.1℃,最低温度为5.5℃,日照时数1310.04 h。试验土壤为黑钙土,最大田间持水量为41.79%~42.70%,pH8.42,有机质含量32.4 g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮含量为100.19 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷10.60 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾210.0 mg·kg<sup>-1</sup>,全氮0.18%,全磷0.07%,前茬作物均为玉米。

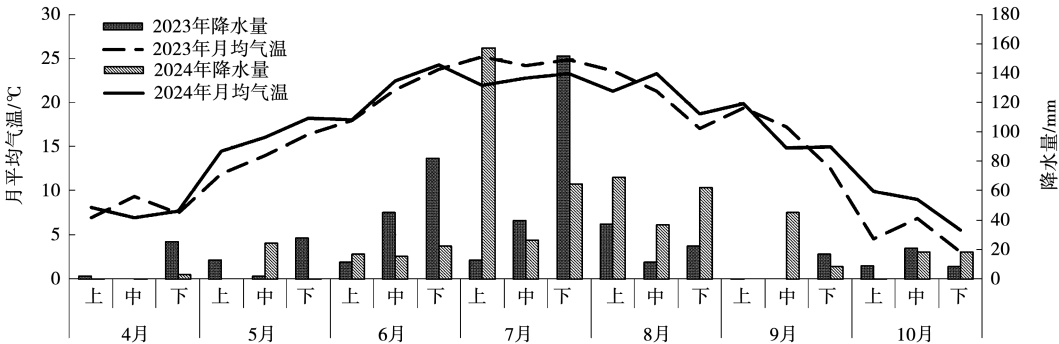


图1 2023年和2024年4月—10月齐齐哈尔降水量及月平均气温

1.2 材料

春大豆供试品种为齐农7号(黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院提供,生育期平均120 d),黑农531(黑龙江省农业科学院大豆研究所提供,生育期平均123 d)。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 根据黑龙江省西部地区1990—2021年降水时空分布特征<sup>[10-11]</sup>和本地区春大豆生产实际需水量<sup>[12]</sup>确定本试验灌溉水量。采取随机区组试验设计,设置常规喷灌和浅埋滴灌,各处理3次重复,共计12个小区。播种密度32.5万株·hm<sup>-2</sup>,130 cm大垄4行,株距9.5 cm。试验播种日期为2023年5月15日和2024年5月9日,各处理除灌水量不同外,其他田间管理方式一致。喷灌采用卷帘喷灌,滴灌采用浅埋滴灌,具体滴灌水量见表1。

表1 不同灌溉方式处理具体灌溉时间和具体灌溉量

喷灌方式	时间	灌溉量/ (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	喷灌方式	时间	灌溉量/ (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )
常规喷灌	5月24日	205.10	浅埋滴灌	5月24日	151.58
	7月18日	87.54		7月4日	45.02
				7月20日	45.02
总计		292.64		8月24日	45.02
			总计		286.64

1.3.2 测定项目及方法 生育时期记载:准确记录两个大豆品种具体苗期、分枝期、盛花期、鼓粒期和成熟期。

土壤水分和容重测定:采用环刀法在大豆苗期、分枝期、盛花期、鼓粒期和成熟期按照0~10、10~20、20~30和40~60 cm进行取样,测定播种前和成熟期的土壤容重及土壤质量含水量。

土壤容重(g·cm<sup>-3</sup>)=环刀内土样烘干质量(g)/环刀体积(cm<sup>3</sup>)

生物量和产量测定:于大豆成熟期选取不同处理长势均匀的植株10株,3次重复,105℃烘干至恒重,分别测定不同处理的全株干重,进一步计算不同灌溉方式下的生物产量。收获期各小区取10 m行长,4大垄的大豆,3次重复,进行脱粒测产,计算经济产量和收获指数。

水分利用率=产量/(播种时土壤贮水量-收获时土壤贮水量+生育期降水量+灌溉水量)

灌溉水利用率=产量/灌溉水量<sup>[13]</sup>

式中,产量单位为kg·hm<sup>-2</sup>;水分利用率和灌溉水利用率单位为kg·(mm·hm<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>。

土壤贮水量=土壤容重×采样土层深度×10×土壤质量含水量/100<sup>[14]</sup>

式中,土壤容重单位为g·cm<sup>-3</sup>;采样土层深度单位为cm;土壤质量含水量单位为%;10为换算系数;贮水量单位为mm。

1.3.3 数据分析 采用 Excel 2010 进行数据分析、处理和作图;采用 SAS 9.0 进行显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同灌溉方式对大豆不同生育时期植株性状的影响

2.1.1 株高 由图 2A 可知,对比浅埋滴灌处理,常规喷灌对苗期齐农 7 号和黑农 531 的株高影响差异显著,分别增加 7.95%和 5.83%;浅埋滴灌处理黑农 531 分枝期的株高较常规喷灌显著增加 8.58%;浅埋滴灌处理齐农 7 号鼓粒期的株高对比常规喷灌显著增加 28.87%;盛花期和成熟期两种灌溉处理下的两个大豆品种株高差异均不显著。

2.1.2 茎粗 由图 2B 可知,对比浅埋滴灌,苗期黑农 531 常规喷灌处理的茎粗显著增加 11.99%;盛花期齐农 7 号常规喷灌处理的茎粗显著增加 5.52%;分枝期和鼓粒期两个灌溉处理下的两个品种茎粗差异不显著;对比常规喷灌处理,浅埋滴灌对成熟期黑农 531 的茎粗显著增加 18.38%。

2.1.3 叶面积指数 由图 2C 可知,对比浅埋滴灌处理,苗期和分枝期黑农 531 常规喷灌处理的叶面积指数分别显著增加 23.74%和 21.74%;盛花期两个灌溉处理下的两个品种叶面积指数差异均不显著;对比常规喷灌处理,鼓粒期齐农 7 号浅埋滴灌处理的叶面积指数显著增加 22.54%;浅埋滴灌对成熟期齐农 7 号和黑农 531 的叶面积指数影响差异均显著,分别增加 16.52%和 17.99%。

2.1.4 干物质积累 由图 2D 可知,苗期和分枝期不同灌溉处理下的两个大豆品种地下干物质差异均不显著;对比常规喷灌,浅埋滴灌对盛花期和鼓粒期齐农 7 号地下干物质影响差异显著,分别增加 36.90%和 17.00%;浅埋滴灌对成熟期黑农 531 地下干物质影响差异显著,增加 18.77%。

由图 2E 可知,苗期和分枝期不同灌溉处理下的两个品种地上干物质差异不显著;对比常规喷灌,浅埋滴灌对盛花期和鼓粒期齐农 7 号地上干物质影响差异显著,分别显著增加 37.15%和 44.47%;浅埋滴灌对成熟期齐农 7 号和黑农 531 地上干物质影响差异显著,分别增加 19.22%和 15.37%。

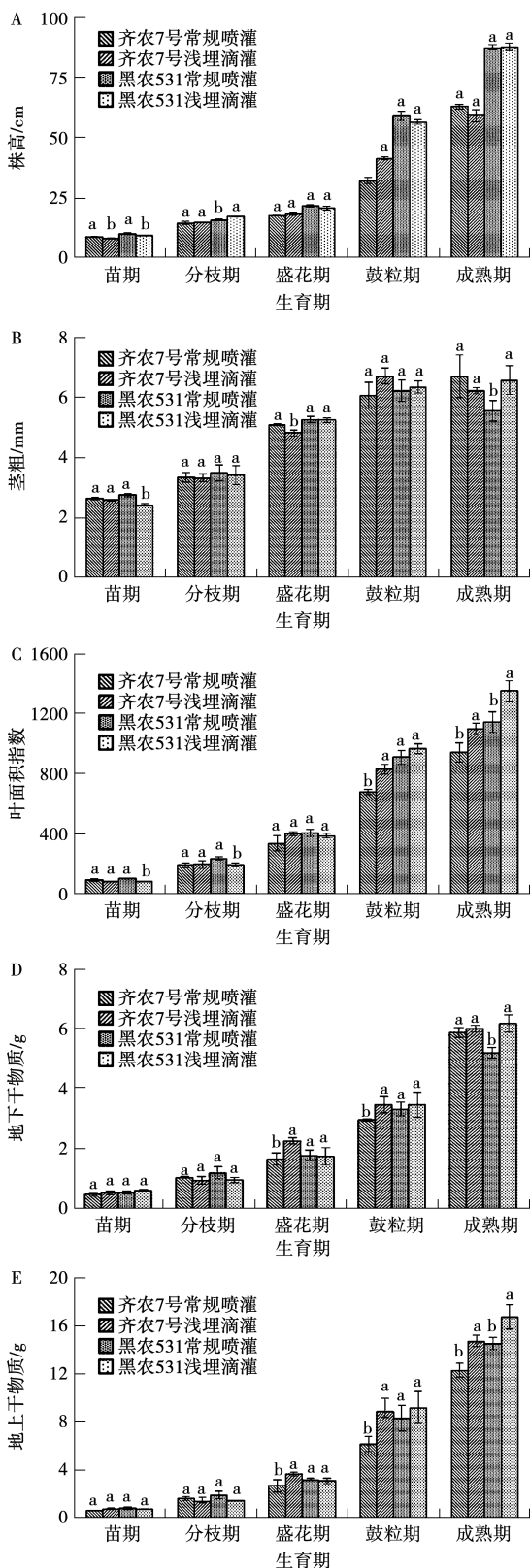


图 2 不同灌溉方式对大豆植株性状的影响

注:不同小写字母表示同一品种不同灌溉处理间在

$P < 0.05$  水平差异显著。



## 2.2 不同灌溉方式对大豆产量构成因素和产量的影响

由表 2 可知,与常规喷灌处理相比,浅埋滴灌下齐农 7 号和黑农 531 的单株荚数、单株粒重、单

株粒数和产量均显著增加,分别增加 27.71%和 25.09%、33.90%和 38.04%、34.87%和 52.97%、25.30%和 24.68%。与常规喷灌处理相比,浅埋滴灌对黑农 531 的百粒重影响差异显著,增加 11.45%。

表 2 不同灌溉方式对大豆产量构成因素及产量的影响

品种	处理	单株荚数/个	单株粒重/g	单株粒数/个	百粒重/g	产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )
齐农 7 号	常规喷灌	24.00±2.70 b	11.68±2.19 b	59.22±3.89 b	31.74±0.59 a	2989.47±128.62 b
	浅埋滴灌	30.65±2.17 a	15.64±1.48 a	79.87±4.28 a	31.30±1.03 a	3745.73±102.82 a
黑农 531	常规喷灌	23.00±3.13 b	10.70±1.15 b	51.58±3.83 b	27.07±0.81 b	2821.46±94.00 b
	浅埋滴灌	28.77±0.98 a	14.77±0.48 a	78.90±4.38 a	30.17±0.62 a	3517.88±23.36 a

注:不同小写字母表示同一品种不同灌溉处理间在  $P<0.05$  水平差异显著。

## 2.3 不同灌溉方式对大豆收获指数的影响

由表 3 可知,对比常规喷灌处理,浅埋滴灌处理下齐农 7 号和黑农 531 的籽粒干重及收获指数

分别增加 0.23%和 0.38%、4.76%和 10.00%;植株干重分别减少 3.87%和 8.52%。

表 3 不同灌溉方式对大豆收获指数的影响

品种	处理	植株干重/g	籽粒干重/g	收获指数	品种	处理	植株干重/g	籽粒干重/g	收获指数
齐农 7 号	常规喷灌	51.44±3.73 a	21.83±2.77 a	0.42±0.02 a	黑农 531	常规喷灌	53.08±8.24 a	20.97±2.41 a	0.40±0.02 a
	浅埋滴灌	49.45±2.46 a	21.88±0.08 a	0.44±0.02 a		浅埋滴灌	48.56±7.91 a	21.05±2.71 a	0.44±0.04 a

注:不同小写字母表示同一品种不同灌溉处理间在  $P<0.05$  水平差异显著。

## 2.4 不同灌溉方式对大豆水分利用率的影响

由表 4 可知,浅埋滴灌处理对比常规喷灌处理生育期内水分利用率提高了 26.02%~26.87%,灌溉水利用效率提高了 27.30%~27.93%。

通过在本地区气候条件下进行两个品种两个

灌溉方式试验,发现在浅埋滴灌和常规喷灌补水量基本相当的情况,浅埋滴灌方式水分利用率和灌溉水利用效率都优于常规喷灌,说明浅埋滴灌方式更适用于黑龙江省西部风沙半干旱区。

表 4 不同灌溉方式对大豆水分利用率的影响

品种	处理	贮水量/ mm	生育期降水量/ mm	灌溉补水量/ mm	水分利用率/ [kg·(mm·hm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> ]	灌溉水利用效率/ [kg·(mm·hm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> ]
齐农 7 号	常规喷灌	-5.70	550	29.25	5.21	102.20
	浅埋滴灌	-11.67	550	28.65	6.61	130.74
黑农 531	常规喷灌	-5.70	550	29.25	4.92	96.46
	浅埋滴灌	-11.67	550	28.65	6.20	122.79

# 3 讨论

## 3.1 不同灌溉方式对大豆植株的影响

灌溉方式和田间水分管理对大豆株型的调控至关重要。研究表明,滴灌能够提高耕作层土壤温度,而播种期的种子和苗期植株对土壤温度较为敏感,这直接影响了生育进程和株型生长<sup>[15-16]</sup>。郭振宇等<sup>[2]</sup>研究发现,不同灌溉方式对大豆的生理指标产生不同程度的影响,滴灌通过提高土壤温度显著提升了大豆的叶面积指数。叶面积指数是提高粮食产量和减少土壤蒸发的积极指标<sup>[17]</sup>。本研究中,浅埋滴灌处理下齐农 7 号在鼓粒期以及黑农 531 在成熟期的叶面积指数明显高于常规

喷灌处理。结合降水和灌水情况,本地区在大豆的关键生育时期,降水明显无法满足大豆生长的需要,浅埋滴灌能比常规喷灌更有效地补充大豆关键生育时期的水分需求。及时补充水分使得浅埋滴灌处理下的大豆植株衰老速度明显慢于常规灌溉<sup>[18-19]</sup>。风沙半干旱区的气候对作物生长有显著影响,植株生长的关键需水时期叶片指标随土壤水分变化呈现整体延后变化<sup>[20]</sup>。在灌水量一致的条件,滴灌有助于增加作物的株高、茎粗、叶面积和地上部干物质<sup>[21]</sup>。地上生物量是作物生长的物质基础,与产量形成密切相关<sup>[22-24]</sup>。同时,在大豆生长关键时期给予水分供给,有助于

增加大豆干物质的积累<sup>[25]</sup>。本研究中,齐农 7 号在鼓粒期的叶面积和地上干物质在浅埋滴灌下明显高于常规喷灌,黑农 531 在生殖生长阶段植株指标整体高于常规喷灌处理,但差异不显著,表明浅埋滴灌处理在不同品种上植株性状表现存在差异。

### 3.2 不同灌溉方式对大豆产量的影响

大量研究已经证实,大豆对水分的需求较为敏感<sup>[26]</sup>,特别是在其关键生育时期,灌溉的频率和量对大豆的干物质积累和产量构成具有显著影响,进而直接影响到最终产量。在大豆的关键生育阶段,水分供应直接关系到植株的生长状况,而在营养生长期,水分的限制会进一步影响到生殖生长期的进程,导致输送到豆荚和籽粒的营养物质减少,进而影响大豆干物质在豆荚和籽粒中的分配<sup>[27]</sup>。研究表明,在大豆的鼓粒期进行滴灌补水可以加快干物质的积累速度,增加干物质总量,这对于提高单株荚数、单株粒数和百粒重,以及最终获得更高的产量是有利的<sup>[28-29]</sup>。此外也有研究表明,增加灌溉量可以显著提升产量和百粒重<sup>[30-31]</sup>,尽管对单株荚数和单株粒数的影响不大<sup>[2]</sup>,但全生长季的充足水分供应对提高产量至关重要,特别是在花期之前的水分供应,如果不足或缺失,将对后续的生殖生长产生负面影响<sup>[32-33]</sup>。

在本研究中,对比两个大豆品种在常规喷灌和浅埋滴灌下的百粒重差异,发现只有齐农 7 号在两种灌溉方式下的百粒重差异不显著。然而,在单株荚数、单株粒重、单株粒数和产量方面,两个品种的浅埋滴灌处理均显著高于常规灌溉处理,这表明浅埋滴灌在提高产量和植株生长指标方面具有明显优势。

### 3.3 不同灌溉方式对大豆水分利用效率的影响

在整个生长周期内实施滴灌管理能够提升大豆的荚果产量,并增强灌溉水的使用效率<sup>[34]</sup>。通过调整灌溉方式与有效降雨相结合,仅在大豆生长的关键时期进行针对性补水,可以有效提升水分利用效率<sup>[35]</sup>。作物的水分利用效率与其生长发育阶段紧密相关<sup>[36]</sup>。恰当的灌溉方法不仅能够促进植物生长,提高水分利用效率,还能在节约水资源的同时实现高产<sup>[3,37]</sup>。灌溉方法的效率直接关系到灌溉水的使用效率和作物产量<sup>[38]</sup>。

在本研究中,对两个大豆品种进行常规喷灌

和浅埋滴灌的对比试验,旨在评估两种灌溉方法下的灌溉水利用效率和水分利用效率。结果显示,在两种灌溉处理下,两个品种的收获指数变化不大,这表明在本地区,浅埋滴灌在保证产量的同时,能够有效提升大豆的水分利用效率和灌溉水利用效率。本研究仅进行两年田间实验,且试验期间试验地降水量偏多,可通过延长试验周期,获取更多不同降水量下的数据支持,用以进一步优化浅埋滴灌的灌溉制度,特别是在不同生育阶段灌水量和灌水频率的调整,通过更精细的水分管理,提高大豆的产量和水分利用效率。浅埋滴灌技术在大豆花期之后能够显著增加叶面积,促进地上干物质的积累,这对于提高大豆粒重和最终产量具有积极作用。通过分次供水,浅埋滴灌有效减轻了灌溉对植株的降温效应,从而避免了对植株形态发育的不利影响,保持了合理的株型,并增强了群体效应。本研究仅选取了两个本地主栽品种,后续可以通过增加试验品种数量,研究浅埋滴灌技术对不同大豆品种的适应性,确定浅埋滴灌技术在不同品种上的普适性。还可以增加肥料配施,进一步研究优化灌溉和施肥的协同效应,在大豆生产中实现更高的资源利用效率和产能提升。

## 4 结论

浅埋滴灌技术在满足大豆关键生育期水分需求方面表现出显著效果。与常规喷灌相比,浅埋滴灌能够显著提升大豆的单株荚数(25.09%~27.71%)、单株粒重(33.90%~38.04%)、单株粒数(34.87%~52.97%)及产量(24.68%~25.30%)。在收获指数无显著差异的前提下,浅埋滴灌相较于常规喷灌,其水分利用效率提升 26.02%~26.87%,灌溉水利用效率提高 27.30%~27.93%。因此,综合考虑,浅埋滴灌技术更适合黑龙江省西部风沙半干旱区大豆生产的农业生态环境,是一种有效的节水增产灌溉方式。

### 参考文献:

- [1] 吕雯. 玉米 II 大豆复合群体耗水特征与生长对灌水量的响应[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2021.
- [2] 郭振宇,杨丹妮,杨晓琳,等. 不同灌溉方式对大豆耗水和水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报,2023,42(3):14-25.
- [3] 闫泽宇,史海滨,杨树青,等. 呼伦贝尔地区喷灌对大豆生长及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报,2019,38(5):19-24.

- [4] 胡勇,靳伟荣,谢亨旺,等.不同灌溉方式秋大豆需水规律与灌溉定额研究[J].江西水利科技,2018,44(2):79-84.
- [5] 王龙,魏永霞,吴限.黑土区调亏灌溉条件下大豆耗水规律试验研究[J].节水灌溉,2014(11):29-33.
- [6] 孙丹丹,张忠学.滴灌大豆不同灌水量的产量与水分效应分析[J].东北农业大学学报,2012,43(5):100-104.
- [7] 高佩,吕海深,王怡宁,等.淮北平原干旱胁迫对夏大豆土壤耗水量及产量的影响[J].节水灌溉,2024(5):88-93.
- [8] 杜孝敬.膜下滴灌量对复播大豆产量形成及土壤有机碳的影响[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2020.
- [9] 赵育恒.滴灌条件下九三大豆水肥调控模式试验研究[D].大庆:黑龙江八一农垦大学,2023.
- [10] 李冬楠,高倩楠,孙国芝,等.1991—2021年黑龙江省降水时空分布特征[J].气象与环境学报,2024,40(2):17-25.
- [11] 王美波.黑龙江省夏季降水特征及降雨侵蚀力分析[D].哈尔滨:黑龙江大学,2024.
- [12] 李秀芬,吴双,赵放,等.寒地大气气候生产潜力特征及其对气候变化的响应[J].应用生态学报,2024,35(6):1615-1624.
- [13] 陈宣伊,师晶晶,张向前,等.滴灌水量对土壤水分变化特征和玉米水分利用效率的影响[J].中国农业大学学报,2023,28(9):38-48.
- [14] 袁杰,曹广超,曹生奎,等.祁连山南坡微地形下典型生态系统土壤蓄水能力差异[J].水土保持研究,2024,31(1):159-167,177.
- [15] 杨立达,彭新月,朱文雪,等.秸秆还田与灌溉方式对大豆玉米带状间作出苗及幼苗生长的影响[J].中国农业科学,2024,57(17):3366-3383.
- [16] 林凤妹.不同灌水方式下 $\gamma$ -聚谷氨酸对土壤水分、养分及大豆生长的影响研究[D].西安:西安理工大学,2023.
- [17] KUBOTA A, SAFINA S A, SHEBL S M, et al. Evaluation of intercropping system of maize and leguminous crops in the Nile delta of Egypt[J]. Tropical Agriculture and Development, 2015, 59: 14-19.
- [18] AKANBELUM O A, DZOMEKU I K, YIRZAGLA J, et al. Maize-soybean integration for managing *Striga hermonthica* (del.) Benth in the Sudan savannah zone of Ghana[J]. American Journal of Plant Sciences, 2023, 14(9): 1043-1060.
- [19] ÜNAY A, SABANCI İ, ÇINARV M. The effect of maize (*Zea mays* L.) /soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) intercropping and biofertilizer (*Azotobacter*) on yield, leaf area index and land equivalent ratio[J]. Tarım Bilimleri Dergisi, 2021, 27(1): 76-82.
- [20] 王光杰,黄彬香,宋尧,等.半干旱风沙区玉米关键需水期叶气温差变化特征及影响因素[J].北方农业学报,2023, 51(6):89-97.
- [21] 王鼎新.风沙土玉米滴灌水肥一体化灌溉制度优化研究[D].扬州:扬州大学,2021.
- [22] KHALID M H B, CUI L, ABBAS G, et al. Effect of row spacing under maize-soybean relay intercropping system on yield, competition, and economic returns [J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2023, 47 (3): 390-401.
- [23] WANG C, ZHOU L B, ZHANG G B, et al. Responses of photosynthetic characteristics and dry matter formation in waxy *Sorghum* to row ratio configurations in waxy *Sorghum*-soybean intercropping systems[J]. Field Crops Research, 2021, 263: 108077.
- [24] ZHANG D S, SUN Z X, FENG L S, et al. Maize plant density affects yield, growth and source-sink relationship of crops in maize/peanut intercropping[J]. Field Crops Research, 2020, 257: 107926.
- [25] 赵晶云,任小俊,刘小荣,等.灌水时期及灌水量对大豆产量及产量因子的影响[J].中国农学通报,2017,33(33): 9-15.
- [26] 毛洪霞.滴灌大豆需水规律及灌溉制度研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(5):112-117.
- [27] 刘富强,窦超银,杨磊,等.风沙土大豆膜下滴灌水肥一体化适宜灌水量的研究[J].节水灌溉,2023(9):8-15.
- [28] 杜孝敬,符小文,安崇霄,等.夏大豆干物质积累参数及产量对膜下滴灌量的响应[J].生态学杂志,2019,38(6): 1751-1759.
- [29] 朱倩倩.不同滴水量对新大豆27号根系生长、光合特性及花荚形成的影响[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2015.
- [30] 白盼盼,任金涛,章建新,等.不同水氮处理对膜下滴灌春大豆根系生长及产量的影响[J].大豆科学,2023,42(3): 326-334.
- [31] YANG X, ZHANG L, LIU X F. Optimizing water-fertilizer integration with drip irrigation management to improve crop yield, water, and nitrogen use efficiency: a meta-analysis study[J]. Scientia Horticulturae, 2024, 338: 113653.
- [32] SANDHU R, IRMAK S. Effects of subsurface drip-irrigated soybean seeding rates on grain yield, evapotranspiration and water productivity under limited and full irrigation and rainfed conditions[J]. Agricultural Water Management, 2022, 267: 107614.
- [33] GARCIA Y GARCIA A, PERSSON T, GUERRA L C, et al. Response of soybean genotypes to different irrigation regimes in a humid region of the southeastern USA[J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(7): 981-987.
- [34] 孙丹丹.不同滴灌水量对大豆生长和耗水量的影响试验研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2011.
- [35] 李建查,潘志贤,李坤,等.干热河谷不同滴灌模式对鲜食大豆生物量分配、产量及水分利用效率的影响[J].江西农业学报,2020,32(12):21-25.
- [36] 杨丽妍.不同气候变化情景下的区域水资源分析及旱田灌溉制度优化[D].哈尔滨:东北农业大学,2020.
- [37] CATTIVELLI L, RIZZA F, BADECK F W, et al.

Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics[J]. Field Crops Research, 2008, 105(1/2): 1-14.

[38] MORALES-SANTOS A, GARCÍA-VILA M, NOLZ R. Assessment of the impact of irrigation management on soybean yield and water productivity in a subhumid environment[J]. Agricultural Water Management, 2023, 284: 108356.

# Impact of Subsurface Drip Irrigation Technology on Soybean Yield and Water Use Efficiency in Semi-Arid Area of Western Heilongjiang Province

YANG Huiying, WANG Yuxian, GAO Pan, XU Yingying, ZHANG Gongliang, YAN Feng, DONG Yang, SHEN Huibo

(Qiqihar Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161006, China)

**Abstract:** In order to effectively improve soybean yield and water use efficiency in Semi-Arid Area of Western Heilongjiang Province, two irrigation treatments were set up, conventional sprinkler irrigation and shallow buried drip irrigation. Two main soybean varieties were selected for a field plot experiment to optimize the water use efficiency throughout the soybean growth period and increase yield. The results showed that shallow buried drip irrigation can meet the water needs of soybeans during critical growth periods. Shallow buried drip irrigation supplies water in multiple stages, enhancing the population effect. Compared with conventional sprinkler irrigation, shallow buried drip irrigation increased the number of pods per plant, the number of seeds per plant, and the yield of Qinong 7 by 27.71%, 34.87%, and 25.30%, respectively. For Heinong 531, it increased the number of pods per plant, the weight of seeds per plant, the number of seeds per plant, the weight of 100 seeds, and the yield by 25.09%, 38.04%, 52.97%, 11.45%, and 24.68%, respectively. Shallow buried drip irrigation improved water use efficiency by 26.02% to 26.87% and irrigation water use efficiency by 27.30% to 27.93%. Shallow buried drip irrigation optimizes the population traits of soybean plants through multiple small water supplies, enhances yield traits, and thereby improves water use efficiency and irrigation water use efficiency.

**Keywords:** Heilongjiang Province; subsurface drip irrigation; soybean; water use efficiency; yield

## 协办单位

- 黑龙江省作物学会
- 黑龙江省农业科学院水稻研究所
- 黑龙江省农业科学院克山分院
- 黑龙江省农业科学院黑河分院
- 黑龙江省农业科学院绥化分院
- 黑龙江省农业科学院佳木斯分院
- 黑龙江省农业科学院牡丹江分院