阚以琴,刘玉兰,李名莉,等.垄作栽培提升黄花菜产量及改善根际土壤环境[J].山西农业大学学报(自然科学版),2024,44(4):71-81.
Kan Y Q, Liu Y L, Li M L, et al.Ridge cultivation enhances daylily yield and improves the rhizosphere soil environment[J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2024,44(4):71-81.
doi: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202403001

垄作栽培提升黄花菜产量及改善根际土壤环境

阚以琴[1],刘玉兰[1],李名莉[1],邢国明[1],马涛[2],孙胜[1*]

(1.山西农业大学 园艺学院,山西 晋中 030801;2.山西农业大学 高寒区作物研究所,山西 大同 037006)

摘　要:[目的]本研究旨在提高黄花菜的产量,探索适宜大同地区黄花菜的有效栽培模式。[方法]于2022—2023年,以'大同黄花'为试验材料,采用垄作、平作和沟栽3种栽培方式,通过测定分析黄花菜根际土壤理化属性、根系活力与生物量等指标,探究栽培方式对黄花菜产量的影响。[结果](1)垄作能显著降低0~20 cm土层土壤容重和土壤含水量,提高0~20 cm土层土壤孔隙度。垄作下0~10、10~20 cm土层土壤容重较平作分别降低4.88%和3.37%,土壤含水量分别显著降低17.03%和19.04%,土壤孔隙度分别提高8.28%和7.33%,而沟栽下0~10 cm土层土壤含水量较平作显著提高11.46%;(2)垄作提高0~20 cm土层土壤温度,尤其是表层0~5 cm温度变化幅度最大。(3)垄作提高0~30 cm土层土壤蔗糖酶和脲酶活性,其中0~10 cm土层酶活性最高。(4)在黄花菜展叶期、初花期和盛花期,垄作下的土壤碱解氮含量分别显著提高81.12%、111.42%、40.64%。(5)垄作提高根系活力,在黄花菜抽薹期较平作显著提高21.36%,随着生育进程的推进,根系干物质逐渐增加,在盛花期垄作较平作提高27.63%。(6)在产量方面,垄作较平作显著提高28.89%。[结论]垄作可提高土壤温度、孔隙度、土壤酶活性及土壤养分含量,为黄花菜创造良好的生态环境,利于根系生长,实现黄花菜高产,因此垄作是适合大同地区黄花菜的高效栽培模式。

关键词:黄花菜;栽培方式;产量;根际环境;根系发育
中图分类号:S318　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-8151(2024)04-0071-11

黄花菜(*Hemerocallis citrina*),又叫萱草、忘忧草,阿福花科萱草属的多年生草本植物。黄花菜对土壤要求较低,在微碱性或微酸性土壤中都能正常生长,因此我国多地均有种植[1]。黄花菜营养丰富,富含各种维生素、蛋白质、糖和矿物质等,深受多地消费者喜爱[2]。随着黄花菜产业的发展,高产、稳产成为黄花菜栽培的重要目标。

大量实践证明,适宜的栽培方式是改善土壤结构、提高作物产量的有效途径之一。垄作和沟栽作为传统的栽培技术,可改善作物的生长环境,促进作物的生长发育和产量提升。目前,垄作栽培模式已成功应用于小麦[3]、马铃薯[4]、玉米等作物[5]。陈克玲等[6]研究表明,沟垄集雨栽培模式可明显提高烤烟各个时期各性状的干物质积累量及单株干物质积累量。张月荷等[7]研究表明,垄沟种植促进夏玉米的生长发育,且产量较平作增加2.40%~13.90%。姜春霞等[8]研究表明,随着起垄高度的增加,马铃薯产量呈上升趋势。仪泽会等[9]研究发现,起垄栽培可改善土壤微生态环境,提高胡萝卜产量、商品性及土壤水分利用率。王锦莲等[10]研究发现,利用垄沟模式种植玉米,可促进玉米干物质积累、提升玉米产量。

相关研究表明[11-12],作物的产量与栽培方式、定植密度、水肥管理等密切相关。为提高黄花菜产量,从"黄花菜绿色高效生产技术模式"的角度出发,前人已经从"定植密度"、"水肥耦合"两方面去研究如何提高黄花菜的产量。但就黄花菜的栽培方式而言,黄花菜是以平作的栽培方式为主,垄作和沟栽黄花菜能否优质丰产未见报道。目前,垄作栽培技术在其它作物上已取得良好的效果,

收稿日期:2024-03-01　　**修回日期**:2024-05-28
基金项目:国家重点研发计划子课题(2021YFD1600301-4)
作者简介:阚以琴(ORCID:0009-0001-9008-2147),硕士研究生,研究方向:蔬菜栽培生理生态研究
*通信作者:孙胜(ORCID:0009-0008-7590-3729),教授,博士生导师,E-mail:sunsheng_2004@126.com

而沟栽较少在作物上应用。与传统的平作栽培方式相比,垄作和沟栽栽培技术对黄花菜产量和根际环境是否具有促进和改善的作用,尚不明确。故本研究以当地主栽黄花菜品种'大同黄花'为研究对象,以常规平作栽培方式为对照,研究垄作和沟栽栽培方式对黄花菜根际土壤水热状况与酶活性、根系特征及产量特征的影响,旨在分析不同栽培方式对黄花菜根际环境、根系发育及产量的影响,明确其技术优势,研究结果可为提高黄花菜产量提供理论依据。

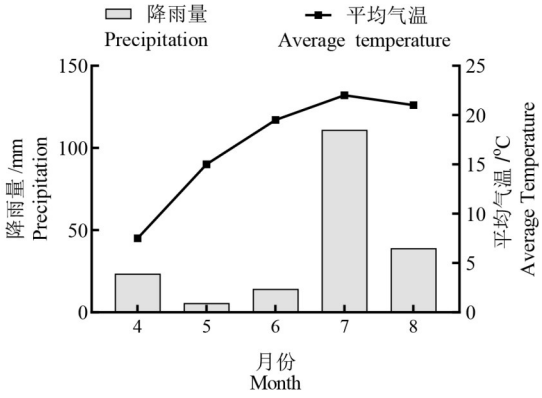


图1 黄花菜生育期内的降水量和气温

Fig.1 Precipitation and air temperature during the growing period of daylily

1 材料和方法

1.1 试验地概况

于2022-2023年度在山西大同云州区黄花试验基地(39°43′～40°16′ N,113°20′～113°55′ E)进行试验,全区平均海拔1050 m。山西大同云州区属于温带季风型大陆性气候,年平均气温6.4 ℃,平均无霜期125 d,平均日较差12 ℃,年均日照2825 h,昼夜温差大,适宜黄花营养成分的积累。年均降水量395 mm,且集中在黄花生长季节[13]。2023年度黄花菜生育期内试验地的降雨量和气温情况见图1,此时间段降雨主要集中在7月。在4-8月,降雨量为39～111 mm,气温为11～35 ℃。试验地土壤基本肥力状况为:pH=7.55,土壤全磷含量0.16 g·kg^{-1},全钾含量0.35 g·kg^{-1},全氮含量0.37 g·kg^{-1},有效磷含量15.72 mg·kg^{-1},速效钾含量122.75 mg·kg^{-1},碱解氮含量74.67 mg·kg^{-1}。

1.2 供试材料

供试黄花菜品种为当地主栽品种'大同黄花',来自于山西省大同市云州区。

1.3 试验设计

试验设3个处理,分别为垄作、平作和沟栽,均采用等行距种植,栽培方式如图2所示。

垄作栽培:垄底宽70 cm,垄面宽40 cm,垄间距120 cm,垄高10 cm,株距50 cm,垄上单行种植。每处理3次重复,每个重复1个小区,小区面积为11 m×1.2 m,共40穴,每穴5株,共200株;

平作栽培:行距120 cm,株距50 cm,单行种植。每处理3次重复,每个重复1个小区,小区面积为11 m×1.2 m,共40穴,每穴5株,共200株;

沟栽栽培:沟底宽40 cm,沟体宽70 cm,沟间距120 cm,株距为50 cm,沟深为10 cm,沟内单行种植。处理3次重复,每个重复1个小区,小区面积11 m×1.2 m,共40穴,每穴5株,共200株。

黄花菜田间管理措施同当地常规管理方法。在2022年11月25日,结合深耕施牛粪有机肥(全磷0.71%,全钾0.93%,全氮1.5%,有机质63.6%)1500 kg和复合肥料(氮、磷、钾比例为25:5:5)40 kg,完成黄花菜定植,定植后浇灌越冬水;在2023年4月25日,出苗前浇灌返青水,促进黄花菜返青;在黄花菜出苗后浇1次水,促进枝叶生长,在展叶期施氮、磷、钾三要素的比例为29:9:13的复合肥30 kg;在抽薹期分别浇灌水2次,且施入氮、磷、钾三要素的比例为15:15:15的复合肥料20 kg;在采收期追施水溶肥10 kg。黄花菜展叶期和抽薹期各中耕1次,保持土壤无杂草。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 土壤容重、孔隙度及含水量

土壤容重的测定用环刀法[14],土壤孔隙度(%)按公式P=(1—容重/比重)×100%计算[15],土壤含水量的测定采用烘干法。每个处理地采用"S"形随机选取3个采样区取样,除去地表凋落物,每个样点取3个土层的深度,分别为0～10、10～20、20～30 cm土层,然后将每个采样区内同一土层的土样组成1个混合样,使其完全混匀后装于密封袋。

1.4.2 土壤温度

用地温计测定土壤温度,从4月初至8月中旬即黄花菜的全生育期内选取5个时间段,分别于4月5日、5月1日、6月17日、7月6日、8月5日每日14时测定0～5、5～10、10～15、15～20 cm共4个土

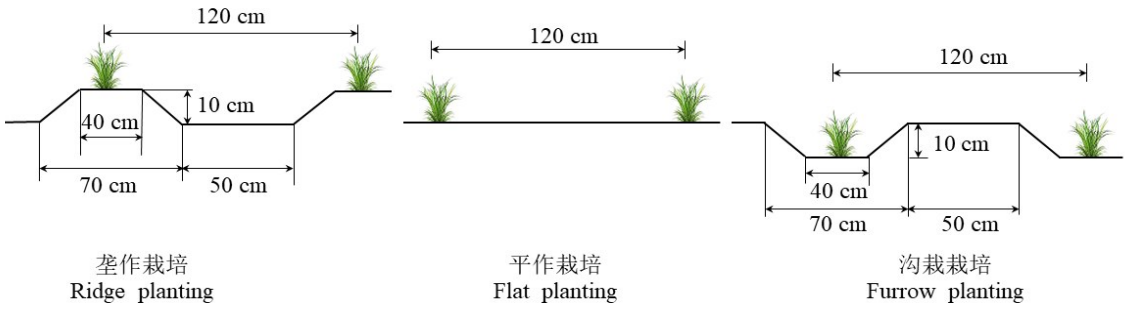


图2　不同栽培方式

Fig.2　Different planting patterns

层的温度。

1.4.3　土壤酶活性

分别在黄花菜展叶期、抽薹期、初花期和盛花期,取样土自然风干后测定土壤蔗糖酶和脲酶活性。蔗糖酶活性测定采用3,5-二硝基水杨酸比色法,脲酶活性测定采用靛酚蓝比色法[16]。每个处理地取土样方法同1.2.1。

1.4.4　土壤养分

分别在黄花菜展叶期、抽薹期、初花期和盛花期,每个处理随机选择3个采样区采用"S"形采样,除去地表凋落物后,用土钻取0～30 cm土层土样,3个样点土样组成1个混合样,完全混匀后装于密封袋。带回实验室,自然风干后测定土壤有效磷、速效钾、碱解氮的含量。有效磷含量测定采用钼蓝比色法,速效钾含量测定采用NH_4OAc浸提-火焰光度法,碱解氮含量测定采用碱解扩散法[17]。

1.4.5　根系活力

分别在黄花菜展叶期、抽薹期、初花期和盛花期,每小区取3株黄花菜的须根,用TTC还原法[18]测定黄花菜的根系活力。

1.4.6　根系干物质含量

分别在黄花菜的展叶期、抽薹期、初花期和盛花期,每小区取3株黄花菜测定根系干物质含量。采用烘干法,将黄花菜根系带到实验室称取鲜重,在105 ℃下杀青,然后在65 ℃烘干,称其干重。

1.4.7　产量

用直尺测量黄花菜植株花蕾长度,用游标卡尺测量黄花菜的花蕾直径,并记录每穴的花薹数和单薹花蕾数。每穴黄花菜上采集5个长势一致的花蕾,用天平测定其单花蕾鲜重,然后计算每公顷的产量。

产量($kg\cdot hm^{-2}$)=(单穴花薹数×单薹花蕾数×单花蕾鲜重×穴数·hm^{-2})/1000

1.5　统计分析

采用Excel 2016进行试验数据统计;采用SPSS软件进行统计分析,运用单因素方差分析(ANOVA)中的最小显著性差异(Duncan's)法进行显著性差异分析;用Graph Pad Prism软件绘图。

2　结果与分析

2.1　不同栽培方式下0～30 cm土层的土壤容重、孔隙度及含水量

从表1可知,0～10、10～20 cm土层垄作的容重和含水量均显著低于平作,孔隙度则显著高于平作,20～30 cm土层垄作下容重、孔隙度和含水量较平作无显著差异性。垄作下0～10、10～20 cm土层容重较平作分别显著降低4.88%和3.37%,孔隙度则分别显著提高8.28%和7.33%,含水量分别显著降低17.03%和19.04%。沟栽下0～10、10～20 cm土层容重分别较平作显著提高14.02%和9.55%;0～10、10～20、20～30 cm土层沟栽下孔隙度分别较平作显著降低22.99%、18.16%和21.23%,0～10 cm土层的含水量显著降低11.46%。可见,垄作和沟栽均可以有效地改善黄花菜根际土壤的物理性状,降低容重,增加孔隙度,且沟栽还可增加含水量。

2.2　不同栽培方式下0～20 cm土层的土壤温度

土壤温度变化如由图3所示,垄作、平作和沟栽3种栽培方式0～20 cm土层的温度变化趋势基本一致,总体上呈现出温度随着土层深度增加而降低的特点,即0～5 cm>5～10 cm>10～15 cm>15～20 cm。在黄花菜全生育期内,不同栽培方式对土壤温度的影响整体上表现为垄作>平作>沟

表1 不同栽培方式下0～30 cm土层的容重、孔隙度及含水量

Table 1 Bulk density, porosity, and water content at the 0～30 cm soil layer under different cultivation methods

栽培方式 Planting patterns	0～10 cm 容重/(g·cm^{-3}) Bulk density	0～10 cm 孔隙度/% Porosity	0～10 cm 含水量/% Water content	10～20 cm 容重/(g·cm^{-3}) Bulk density	10～20 cm 孔隙度/% Porosity	10～20 cm 含水量/% Water content	20～30 cm 容重/(g·cm^{-3}) Bulk density	20～30 cm 孔隙度/% Porosity	20～30 cm 含水量/% Water content
平作	1.64±0.01b	38.15±0.18b	12.04±0.32b	1.78±0.01b	32.32±1.33b	14.02±0.46a	1.83±0.01ab	30.76±0.36a	14.18±0.39ab
垄作	1.56±0.01c	41.31±0.31a	9.99±0.58c	1.72±0.02c	34.69±0.47a	11.35±0.39b	1.82±0.02b	31.16±0.24a	13.44±0.39b
沟栽	1.87±0.01a	29.38±0.29c	13.42±0.46a	1.95±0.01a	26.45±0.37c	14.36±0.47a	2.01±0.01a	24.23±0.31b	14.47±0.46a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant differences ($P<0.05$)

栽。相比于平作,垄作下0～5 cm土层温度最多提高5.03 ℃,5～10 cm土层最多提高3.63 ℃,10～15 cm土层最多提高2.14 ℃,15～20 cm土层最多提高1.2 ℃。沟栽下0～5 cm土层温度较平作最多降低4.2 ℃,5～10 cm土层最多降低3.87 ℃,10～15 cm土层最多提高2.43 ℃,15～20 cm土层最多提高2.13 ℃。可见,垄作栽培会提高土壤温度,且在0～5 cm土层增温显著,而沟栽会不同程度地降低土壤温度。

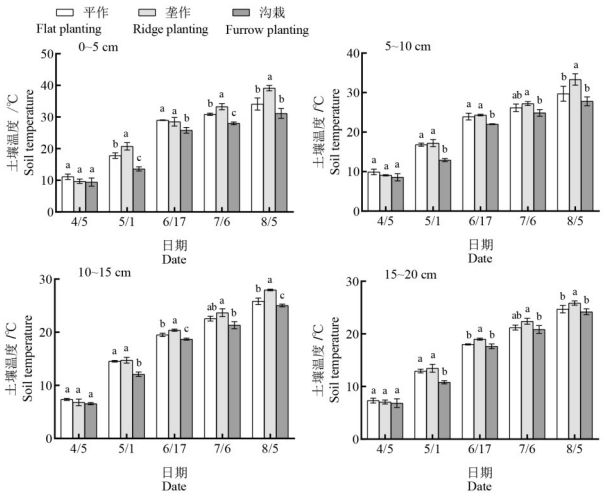


图3 不同栽培方式下0～20 cm土层的温度

Fig.3 Temperature at the 0～20 cm soil layer under different cultivation methods

2.3 不同栽培方式下的土壤酶活性

2.3.1 不同栽培方式下0～30 cm土层的土壤蔗糖酶活性

土壤蔗糖酶活性变化如表2所示,在0～10 cm土层,垄作下展叶期、抽薹期、初花期蔗糖酶活性较平作分别显著提高118.45%、49.21%、117.47%、21.03%;沟栽下展叶期蔗糖酶活性较平作显著提高5.75%。在10～20 cm土层,垄作下抽薹期、初花期和盛花期蔗糖酶活性较平作分别显著提高53.94%、15.27%、29.68%;沟栽下黄花菜展叶期、抽薹期、初花期、盛花期蔗糖酶活性较平作分别显著降低78.01%、48.98%、76.20%、56.60%。在20～30 cm土层,垄作下展叶期、初花期、盛花期蔗糖酶活性较平作分别显著提高134.31%、54.20%和24.70%;沟栽下展叶期、初花期、盛花期蔗糖酶活性较平作分别显著降低71.53%、85.50%、93.49%。可见,与平作种植方式相比,垄作可有效提升0～30 cm土层蔗糖酶活性,而沟栽会降低10～30 cm土层蔗糖酶活性。

2.3.2 不同栽培方式下0～30 cm土层的土壤脲酶活性

土壤脲酶活性变化如表3所示,在0～10 cm土层,垄作下初花期的脲酶活性较平作显著提高85.44%,其它生育时期与平作无显著差异;沟栽下初花期的脲酶活性较平作显著提高72.33%,其它生育时期与平作无显著差异。在10～20 cm土层,垄作和沟栽在盛花期的脲酶活性较平作分别显著降低4.24%、40.11%,其它生育时期与平作均无显著差异。在20～30 cm土层,垄作下展叶期、初花期的脲酶活性较平作分别显著提高73.14%、43.31%;沟栽下初花期、盛花期的脲酶活性较平作分别显著降低37.58%、28.40%。可见,垄作提高0～10、20～30 cm土层的土壤脲酶活性,改善土壤供应氮素的能力,沟栽提高0～10 cm土层的土壤脲酶活性,但会抑制10～30 cm土层脲酶活性。

2.4 不同栽培方式下的土壤养分含量

土壤速效养分含量如表4所示,垄作和沟栽在黄花菜全生育期内的土壤有效磷、速效钾含量与

表2　不同栽培方式下0～30 cm土层的蔗糖酶活性

Table 2　Sucrase activity at the 0～30 cm soil layer under different cultivation methods　　单位:mg·g^{-1}

测定深度 Measure depth	栽培方式 Planting patterns	不同生长发育时期 Different growth and development stages			
		展叶期 Leaf stage	抽薹期 Bolting stage	初花期 Initial flowering stage	盛花期 Blooming stage
0～10 cm	平作	10.95±0.22c	4.41±0.94b	10.93±1.13b	10.89±1.72a
	垄作	23.92±0.27a	6.58±0.27a	23.77±0.93a	13.18±0.53a
	沟栽	11.58±0.14b	5.26±0.87ab	9.72±1.30b	10.60±2.10a
10～20 cm	平作	11.05±0.18a	3.43±0.93b	13.95±1.20b	11.22±0.13b
	垄作	11.20±3.94a	5.28±0.64a	16.08±1.15a	14.55±0.59a
	沟栽	2.43±0.34b	1.75±0.64c	3.32±0.37c	4.87±0.71c
20～30 cm	平作	5.48±0.43b	1.51±1.10a	6.07±2.13b	7.53±0.22b
	垄作	12.84±0.37a	2.52±0.52a	9.36±0.64a	9.39±0.49a
	沟栽	1.56±0.59c	1.26±0.38a	0.88±0.70c	0.49±0.27c

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Note:Different lowercase letters in the same column indicated significant differences ($P<0.05$)

表3　不同栽培方式下0～30 cm土层的脲酶活性

Table 3　Urease activity at the 0～30 cm soil layer under different cultivation methods　　单位:mg·g^{-1}

测定深度 Measure depth	栽培方式 Planting patterns	不同生长发育时期 Different growth and development stages			
		展叶期 Leaf stage	抽薹期 Bolting period	初花期 Initial flowering period	盛花期 Blooming stage
0～10 cm	平作	3.62±0.30a	2.77±0.58a	2.06±0.44b	3.95±0.33a
	垄作	4.08±0.24a	3.39±0.51a	3.82±0.06a	4.34±0.05a
	沟栽	3.70±0.37a	3.03±0.32a	3.55±1.17a	4.10±0.31a
10～20 cm	平作	4.22±0.71a	2.78±0.10a	2.73±0.84a	3.54±0.05a
	垄作	4.81±0.16a	3.18±0.58a	3.17±0.59a	3.39±0.10b
	沟栽	4.29±0.04a	2.69±0.50a	2.65±0.31a	2.12±0.03c
20～30 cm	平作	2.42±0.32b	0.91±0.76ab	1.57±0.20b	2.43±0.22a
	垄作	4.19±0.15a	1.80±0.07a	2.25±0.18a	2.74±0.12a
	沟栽	2.28±0.56b	0.76±0.22b	0.98±0.01c	1.74±0.24b

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Note:Different lowercase letters in the same column indicated significant differences ($P<0.05$)

平作均无显著差异。垄作下展叶期、初花期、盛花期的碱解氮含量较平作分别显著提高81.12%、111.42%%、40.64%,沟栽下展叶期、盛花期的碱解氮含量较平作分别显著降低36.67%、31.88%。可见,垄作可提高土壤速效养分,而沟栽会降低速效养分。

2.5　不同栽培方式下黄花菜的根系活力及根系干物质含量

根系活力是反映植株根系生长、吸收等生理功能的重要指标。黄花菜根系活力变化如图4所示,在展叶期、初花期和盛花期,垄作和沟栽栽培的根系活力与平作无显著差异;在抽薹期,垄作的根系活力较平作显著提高21.36%,而沟栽下的根系活力与平作无显著差异。黄花菜根系干物质含量如图4所示,随着生育期的推进,根系干物质含量在不断增加。在展叶期,垄作和沟栽下的根系干物质含量与平作均无显著差异;在抽薹期和盛花期垄作下的干物质含量较平作分别显著提高18.75%和27.63%。

2.6　不同栽培方式下黄花菜的产量及构成因素

不同栽培方式下黄花菜的产量及构成因素如表5所示,不同栽培方式下黄花菜的单穴花薹数、

表4 不同栽培方式下的土壤养分含量

Table 4 Soil nutrients content under different planting patterns 单位:mg·kg^{-1}

土壤养分 Soil nutrients	栽培方式 Planting patterns	不同生长发育时期 Different growth and development stages			
		展叶期 Leaf stage	抽薹期 Bolting period	初花期 Initial flowering period	盛花期 Blooming stage
有效磷含量	平作	25.54±9.21a	20.18±5.93a	22.96±14.15a	14.15±3.08a
	垄作	18.15±4.38a	34.40±18.23a	24.80±13.58a	24.46±10.88a
	沟栽	13.34±0.28a	43.74±11.10a	37.72±11.11a	12.90±0.96a
速效钾含量	平作	89.86±61.26a	88.08±26.14a	79.44±3.19a	69.63±22.76a
	垄作	135.43±9.76a	157.30±46.26a	95.33±8.41a	104.54±10.88a
	沟栽	86.13±46.55a	86.52±32.19a	81.18±23.13a	68.06±28.56a
碱解氮含量	平作	42.00±3.50b	53.67±8.55ab	32.67±2.91b	42.47±6.31b
	垄作	76.07±8.44a	63.93±8.44a	69.07±6.31a	59.73±4.50a
	沟栽	26.60±1.40c	42.93±5.30b	24.27±3.52b	28.93±6.31c

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant differences ($P<0.05$)

表5 不同栽培方式下黄花菜的产量及构成因素

Table 5 Yield and component factors of daylily under different planting patterns

栽培方式 Planting methods	单穴花薹数 Number of single hole flower stems	单薹花蕾数 Number of single stem flower buds	花蕾长度/cm Bud length	花蕾直径/mm Bud diameter	单花蕾鲜重/g Fresh weight of single flower bud	产量/(kg·hm^{-2}) Yield	增产/% Yield increase rate
平作	3.67±0.58a	9.33±0.58a	13.97±0.40a	9.13±0.40a	4.50±0.26a	2 323.24±255.12b	—
垄作	4.33±0.58a	9.33±0.58a	14.07±0.45a	9.77±0.51a	4.47±0.25a	2 994.32±244.20a	28.89%
沟栽	4.33±0.58a	8.67±0.58a	14.17±0.06a	9.38±0.15a	4.32±0.17a	2 403.90±259.11b	—

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant differences ($P<0.05$)

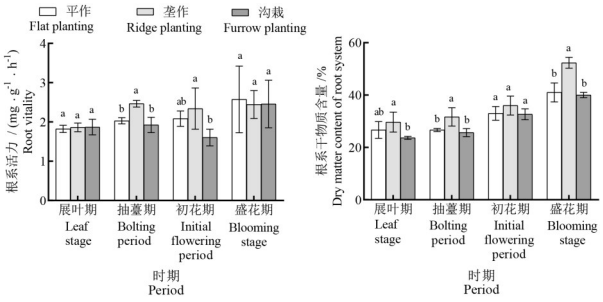


图4 不同栽培方式下黄花菜的根系活力及根系干物质含量

Fig.4 Root activity and root dry matter content of daylily under different planting patterns

单薹花蕾数、花蕾长度、花蕾直径、单花蕾鲜重这些产量构成因素均无显著差异,垄作的产量较平作显著提高28.89%,而沟栽的产量较平作之间无显著差异。

2.7 土壤性质指标和黄花菜产量的相关性分析

由表6可见,土壤的孔隙度与容重呈极显著负相关;含水量与容重呈极显著正相关,与孔隙度呈极显著负相关;脲酶活性与蔗糖酶活性呈极显著正相关;速效钾含量与含水量呈极显著负相关,与容重呈显著负相关,与孔隙度呈显著正相关;碱解氮含量与容重、含水量呈显著负相关,与速效钾含量呈极显著正相关;根系干物质与土壤脲酶活性呈极显著负相关,与土壤速效钾含量、根系活力呈极显著正相关,与土壤碱解氮含量呈显著正相关;产量与土壤蔗糖酶活性、土壤碱解氮含量呈显著正相关。可见,黄花菜产量与根际土壤环境是紧密相关的。

2.8 栽培方式的综合评价

由图5可见,相对于平作和沟栽,垄作(垄高10 cm)对产量的影响最为显著。其中影响产量的指标为土壤的孔隙度、蔗糖酶活性、速效钾含量、碱解氮含量。

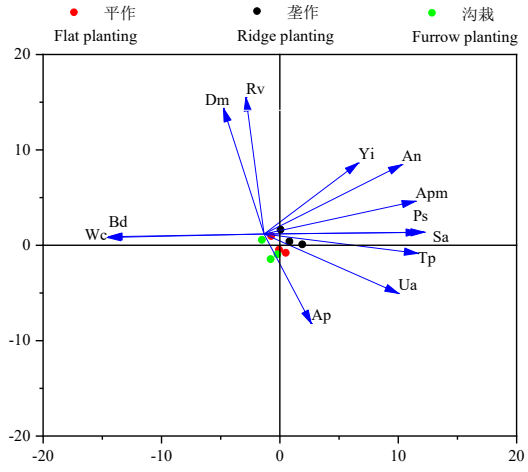
表6　土壤理化属性和黄花菜产量之间的相关系数

Table 6　Correlation coefficient matrix between soil properties index and daylily yield

指标 Index	容重 Bulk density	孔隙度 Porosity	含水量 Moisture content	温度 Temperature	蔗糖酶活性 Sucrase activity	脲酶活性 Urease activity	有效磷含量 Available phosphorus content	速效钾含量 Available potassium content	碱解氮含量 Alkali-hydrolyzed nitrogen content	根系活力 Root vitality	根系干物质 Root dry matter
孔隙度	−0.99**										
含水量	0.88**	−0.89**									
温度	0.42	−0.43	0.47								
蔗糖酶活性	−0.41	0.43	−0.47	0.13							
脲酶活性	−0.31	0.33	−0.57	0.32	0.62**						
有效磷含量	0.49	−0.49	0.29	−0.07	−0.33	−0.31					
速效钾含量	−0.72*	0.71*	−0.85**	−0.19	0.29	0.14	0.11				
碱解氮含量	−0.67*	0.66	−0.68*	−0.07	0.52	0.26	0.04	0.78**			
根系活力	0.43	−0.45	0.35	−0.06	−0.12	−0.20	0.11	−0.09	0.08		
根系干物质	−0.60	0.57	−0.62	−0.19	−0.23	−0.52**	0.07	0.80**	0.66*	0.45**	
产量	−0.36	0.36	−0.47	−0.08	0.78*	0.41	−0.44	0.54	0.69*	−0.24	0.20

注:**表示极显著相关($P<0.01$);*表示显著相关($P<0.05$)

Note:** and * indicated significant correlation at $P<0.01$ and 0.05 level, respectively



Bd:容重;PS:孔隙度;Wc:含水量;Tp:温度;Sa:蔗糖酶活性;Ua:脲酶活性;Ap:有效磷含量;Apm:速效钾含量;An:碱解氮含量;Rv:根系活力;Dm:根系干物质;Yi:产量

Bd: Bulk density; PS: Porosity; Wc: Water content; Tp: Temperature; Sa: Sucrase activity; Ua: Urease activity; Ap: Available phosphorus content; Apm: Available potassium content; An: Available nitrogen content; Rv:Root vitality; Dm: Dry matter of root system; Yi: Yield

图5　各项指标因子载荷分布图

Fig.5 Distribution diagram of individual index factor load

由表7可见,通过对3种栽培方式下12个土壤理化属性及产量指标进行主成分分析,提取特征值大于1的3个主成分,这3个主成分的累计方差贡献率为92.75%。第1主成分特征值为7.10,方差贡献率为59.17%,决定其大小的主要是土壤的孔隙度、温度、蔗糖酶活性、脲酶活性、速效钾含量、碱解氮含量;第2主成分特征值为2.88,方差贡献率为23.99%,决定其大小的主要是根系活力、根系干物质含量;第3主成分特征值为1.15,方差贡献率为9.60%,决定其大小的主要是土壤的容重、含水量、有效磷含量与产量。

以土壤的容重(x1)、孔隙度(x2)、含水量(x3)、温度(x4)、蔗糖酶活性(x5)、脲酶活性(x6)、有效磷含量(x7)、速效钾含量(x8)、碱解氮含量

表7　初始特征值

Table 7　Initial eigenvalues

成分 Component	特征值 Eigenvalues	方差贡献率/% Variance contribution ratio	累计方差贡献率/% Accumulated variance contribution ratio
1	7.10	59.17	59.17
2	2.88	23.99	83.16
3	1.15	9.60	92.75
4	0.36	3.04	95.79
5	0.24	2.03	97.82
6	0.18	1.48	99.30
7	0.08	0.64	99.94
8	0.01	0.06	100.00
9	0.00	0.00	100.00

(x9)以及根系活力(x10)、根系干物质(x11)、产量(x12)12个指标为变量,以各个主成分的矩正值除以该成分特征值的平方根为系数,建立土壤环境指标的综合比较模型表达式如下:

F1=−0.13x1+0.13x2−0.13x3+0.13x4+0.14x5+0.11x6+0.04x7+0.13x8+0.12x9−0.02x10−0.03x11+0.08x12;

F2=−0.01x1+0.01x2−0.01x3−0.05x4+0.01x5−0.15x6−0.22x7+0.08x8+0.17x9+0.34x10+0.31x11+0.18x12;

F3=0.26x1−0.26x2+0.11x3−0.16x4−0.03x5+0.25x6+0.57x7+0.10x8+0.01x9+0.02x10+0.18x11+0.51x12。

以各主成分方差贡献率在累计贡献率中所占的比重为权重,建立综合评价函数:

F=(F1×59.17%+F2×23.99%+F3×9.60%)/92.75%。

由表9可见,垄作处理得分最高,其次是平作和沟栽处理,可见,垄作能够较好改善黄花菜根际环境和提升黄花菜产量。

表8 主成分载荷矩阵

Table 8 Principal component load matrix

指标 Index	主成分1 Principal component 1	主成分2 Principal component 2	主成分3 Principal component 3
容重	−0.35	−0.01	0.28
孔隙度	0.35	0.01	−0.28
含水量	−0.35	−0.01	0.12
温度	0.35	−0.08	−0.17
蔗糖酶活性	0.36	0.01	0.03
脲酶活性	0.30	−0.25	0.27
有效磷含量	0.11	−0.37	0.61
速效钾含量	0.34	0.14	0.11
碱解氮含量	0.31	0.29	0.01
根系活力	−0.04	0.57	0.02
根系干物质	−0.09	0.52	0.19
产量	0.21	0.30	0.55

表9 综合得分及其排名

Table 9 Combined score and ranking

处理 Treatment	第1主成分(F1) The first principal component (F1)	第2主成分(F2) The second principal component (F2)	第3主成分(F3) The third principal component (F3)	综合得分(F) Comprehensive score (F)	排名 Ranking
平作	−0.10	−0.09	−0.92	−0.18	2
垄作	0.93	0.71	0.48	0.83	1
沟栽	−0.83	−0.62	0.44	−0.64	3

3 讨论

3.1 栽培方式对黄花菜根际土壤环境的影响

不同栽培方式对土壤中的水、气、热产生重要影响,土壤中水、气、热的相互协调影响土壤酶活性高低和土壤养分含量的积累。有研究表明,垄作栽培会降低土壤容重,提高土壤孔隙度[19-20],增加土壤温度[21],改善作物的生长环境。本研究结果显示,相比于平作,垄作在0~30 cm土层土壤容重降低、孔隙度提高,进而促进土壤吸收热量,提高土壤温度。土壤酶活性和土壤水热状况密切相关,是土壤肥力的重要指标[22]。相关研究表明,垄作会提高土壤酶活性和土壤养分含量[23-24]。本研究结果显示,通过土壤环境的相关性分析,土壤孔隙度、温度与酶活性呈正相关,土壤酶活性与速效钾、碱解氮含量呈正相关。在黄花菜生育期内,垄作栽培下土壤孔隙度和温度增加可提高0~30 cm土层的酶活性,土壤蔗糖酶和脲酶活性的提高促进土壤速效养分的积累,提高速效钾和碱解氮的含量。

相关研究表明,沟栽种植会提高土壤水分[25],但会降低土壤孔隙度和温度[26]。本研究结果显示,沟栽显著增加0~10 cm土层土壤含水量;但土壤孔隙度和温度显著降低,将抑制土壤酶活性。黄花菜生育期内,沟栽明显抑制10~30 cm土层土壤蔗糖酶、脲酶活性,碱解氮含量下降。

3.2 栽培方式对黄花菜根系特征及产量的影响

根际土壤环境对根系生长发育产生促进或抑制的作用,影响着作物根系对土壤养分吸收,进而对产量产生一定的影响。有研究表明,垄作改善了田间小气候,促进玉米根系的发育,提高干物质

积累。王旭清等[27]发现在0～60 cm土层垄作较平作根系活力得到极显著提高。孙婴婴[28]发现与传统平作相比,垄作栽培措施可提高小麦发根能力,提高根系干物质积累量。钱永德等[29]发现与平作相比,水稻在垄作栽培条件下根系更发达,产量提高。本研究结果显示,根系干物质含量与土壤速效钾含量、碱解氮含量、根系活力呈显著正相关,垄作提高黄花菜根系活力,促进根系吸收土壤养分,增加黄花菜根系干物质积累,垄作下良好的土壤环境和强壮的根系促进黄花菜产量提高28.88%。

李鹏宇等[30]研究发现,沟播栽培夏玉米的总根干物质量含量下降。本研究结果显示,在黄花菜全生育期内,沟栽下根系活力与根系干物质含量与平作无显著差异,产量与平作亦无显著差异。沟栽虽提高表层土壤含水量,但土壤孔隙度小,影响水分的下渗,阻碍根系对水分的吸收;有研究表明,土壤酶活性的高低影响土壤养分的释放,土壤养分丰缺程度直接影响作物的生长发育和产量的高低[31]。沟栽下土壤紧实,土壤酶活性降低,抑制土壤养分的释放,土壤养分不足,阻碍黄花菜的生长,所以即使土壤水分条件较好,但是没有被植株更好地吸收利用,故沟栽下产量不高。

3.3　黄花菜栽培方式的综合评价

用主成分分析法对黄花菜根际土壤环境、根系活力及生物量、产量指标进行综合分析,主成分提取了3个因子,涵盖指标较为全面,结果显示垄作的综合指标表现最佳,要优与平作和沟栽。由此,垄作可以作为大同黄花菜的一种新型栽培模式,更好地提高黄花菜产量和改善根际土壤环境。

本研究中采用的是垄高为10 cm的垄作和沟深为10 cm的沟栽栽培方式,其它高度和沟深的能否更好促进黄花菜生长尚不清楚,建议继续探究5、10、15、20 cm不同高度的垄作和不同沟深的沟栽对黄花菜根际土壤环境、产量特征的影响,确定适宜黄花菜生长的最佳垄作高度与沟栽深度。

4　结论

综上所述,在3种栽培方式中,垄作下根际土壤环境、根系活力与作物生物量、产量都有所提高。采用垄作(垄高10 cm)的栽培方式,可提高0～20 cm土层土壤孔隙度、温度和0～30 cm土层土壤蔗糖酶和脲酶活性。在黄花菜全生育期内,土壤碱解氮含量显著提高40.64%～111.42%。此外,垄作下良好的土壤环境促进根系活力和根系干物质含量分别显著提高21.36%和27.63%。良好的根际土壤环境和强壮的根系促进黄花菜产量提高28.88%。因此,垄作(垄高10 cm)可作为大同地区高效栽培模式。

参　考　文　献

[1]姚文新. 山西大同黄花无公害高产栽培技术[J]. 农业工程技术,2022,42(20):70-71.
Yao W X. Pollution-free and high-yield cultivation techniques of Huanghua in Datong, Shanxi Province[J]. Agricultural Engineering Technology,2022,42(20):70-71.

[2]甄永胜. 黄花菜栽培技术[J]. 现代农村科技,2019(10):30-31.
Zhen Y S. Cultivation techniques of daylily[J]. Xiandai Nongcun Keji,2019(10):30-31.

[3]侯海鹏. 垄作对春小麦品质和产量的影响[D]. 大庆:黑龙江八一农垦大学,2008.
Hou H P. Effect of ridge planting on quality and yield in spring wheat[D]. Daqing:Heilongjiang Bayi Agricultural University,2008.

[4]孙梦媛,刘景辉,赵宝平,等. 全膜垄作栽培对旱作马铃薯产量及土壤水热和酶活性的影响[J]. 干旱区资源与环境,2018,32(1):133-139.
Sun M Y,Liu J H,Zhao B P,et al. Effects of whole plastic filmmulching ridging cropping patterns on soil thermal-moisture status, soil enzyme activity and yield of rain fed potato[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2018,32(1):133-139.

[5]马丽,李潮海,赵振杰,等. 冬小麦、夏玉米一体化垄作的养分利用研究[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(2):500-505.
Ma L,Li C H,Zhao Z J,et al. Nutrients utilization of integrative ridge planting system of winter wheat and summer maize[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2011,17(2):500-505.

[6]陈克玲,王德权,刘洋,等. 沟垄集雨种植对烤烟生长发育及烟叶品质的影响[J]. 草业学报,2022,31(11):128-138.
Chen K L,Wang D Q,Liu Y,et al. Effects of a ridge-furrow rainfall harvesting system on the growth, development and quality of flue-cured tobacco[J]. Acta Prataculturae Sinica,2022,31(11):128-138.

[7]张月荷. 垄沟种植对农田土壤水热及夏玉米生长特性的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2023.
Zhang Y H. Effects of ridge-furrow planting on soil hydrothermal and growth characteristics of summer maize[D]. Yangling: Northwest A&F University,2023.

[8]姜春霞,张伟,贺亭峰,等. 垄作对土壤水热条件及旱地马铃薯产量的影响[J]. 安徽农业科学,2020,48(19):218-221.
Jiang C X,Zhang W,He T F,et al. Effects of ridging planting

on soil moisture and temperature, the yield of dryland potato [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(19): 218-221.

[9]仪泽会,王生武,姜浩富,等. 起垄栽培对胡萝卜产量、病害、土壤微环境及机械化采收的影响[J]. 河南农业科学,2021,50(4):124-130.
Yi Z H, Wang S W, Jiang H F, et al. Effects of ridging cultivation on yield, disease, soil microenvironment and mechanized harvesting of carrot [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2021, 50(4): 124-130.

[10]王锦莲. 浅谈垄沟种植模式对玉米生长及产量的影响[J]. 现代农业研究,2018(1):41-42.
Wang J L. The effect of furrow planting pattern on growth and yield of maize was discussed [J]. Modern Agriculture Research,2018(1):41-42.

[11]程良,李应海,李金泽. 不同水肥组合滴灌对黄花菜产量及土壤水分的影响[J]. 安徽农业科学,2021,49(14):188-190,195.
Cheng L, Li Y H, Li J Z. Effects of drip irrigation with different water and fertilizer combinations on the yield of daylily and moisture content in soil[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2021,49(14):188-190,195.

[12]王红伟. 不同栽培模式与密度对芸豆生长及产量的影响[D]. 大庆:黑龙江八一农垦大学,2023.
Wang H W. Effects of different cultivation patterns and densities on the growth and yield of kidney bean[D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University,2023.

[13]赵建青. 山西大同市云州区黄花产业现状、问题与发展建议[J]. 农业工程技术,2022(17):10,12.
Zhao J Q. Present situation, problems and development suggestions of Huanghua industry in Yunzhou District, Datong City, Shanxi Province [J]. Agricultural Engineering Technology,2022(17):10,12.

[14]江胜国. 国内土壤容重测定方法综述[J]. 湖北农业科学,2019(S2):82-86,91.
Jiang S G. Review on soil bulk density determination method [J]. Hubei Agricultural Science Sciences, 2019(S2): 82-86,91.

[15]赵洪书. 土壤总孔隙度经验公式[J]. 土壤,1978(2):49-50.
Zhao H S. Empirical formula of soil total porosity [J]. Soils, 1978(2):49-50.

[16]关松荫,沈桂琴,孟昭鹏,等. 我国主要土壤剖面酶活性状况[J]. 土壤学报,1984(4):368-381.
Guan S Y, Shen G Q, Meng Z P, et al. Enzyme activities in main soils in China[J]. Acta Pedologica Sinica, 1984(4): 368-381.

[17]鲍士旦. 土壤农化分析3版[M]. 北京:中国农业出版社,2000: 56-106.
Bao S D. Soil agrochemical analysis 3rd edition [M]. Beijing:China Agricultural Press,2000: 56-106.

[18]高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006: 57-61.
Gao J F. Experimental guidance for plant physiology [M]. Beijing:Higher Education Press,2006: 57-61.

[19]唐志伟,周文涛,王勃然,等. 垄厢栽培对水稻根系特性与土壤物理性质的影响[J]. 生态学杂志,2021,40(12):3961-3969.
Tang Z W, Zhou W T, Wang B R, et al. Effects of ridge-bed cultivation on rice root characteristics and soil physical properties[J]. Chinese Journal of Ecology, 2021, 40(12): 3961-3969.

[20]周苏玫,李潮海,常思敏,等. 起垄栽培对夏玉米生态环境及生长发育的影响[J]. 河南农业大学学报,2000,34(3):206-209.
Zhou S M, Li C H, Chang S M, et al. Effects of ridge culture on summer maize ecological environment and growth development[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2000,34(3):206-209.

[21]孙向辉. 垄作栽培对冬小麦根际土壤环境及产量和品质的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2006.
Sun X H. Effects of bed-planting on soil environment in the rhizosphere, yield and quality characteristics of winter wheat (*Triticum aestivum* L.)[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University,2006.

[22]孙江婷,翟稳熙,韩金玲. 薯类作物垄作栽培的生理生态效应研究进展[J]. 河北科技师范学院学报,2022,36(3):48-54.
Sun J T, Zhai W X, Han J L. The research progress on physiological and ecological effects of ridge cultivation of potato crops [J]. Journal of Hebei Normal University of Science & Technology,2022,36(3):48-54.

[23]刘星华,王琦,贾生海. 栽培方式对旱作春玉米土壤酶活性及干物质积累和产量形成的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(9):73-81.
Liu X H, Wang Q, Jia S H. Effects of cultivation methods on soil enzyme and dry matter accumulation and yield of spring maize in dryland[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition),2015,43(9):73-81.

[24]钟康裕,唐志伟,熊瑞,等. 垄厢栽培对水稻根系及土壤肥力的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2022,48(6):631-637.
Zhong K Y, Tang Z W, Xiong R, et al. Effects of ridge and box cultivation on rice roots and soil fertility[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2022, 48(6):631-637.

[25]杨中帅,吴金芝,黄明,等. 垄沟种植及其施肥优化对旱地小麦产量和水肥利用效率的影响[J]. 华北农学报,2021,36(5):157-166.
Yang Z S, Wu J Z, Huang M, et al. Effects of furrow planting and fertilization optimization on wheat yield, water and fertilizer use efficiency in dryland[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2021,36(5):157-166.

[26]Krause U, Koch H J, Maerlaender B. Soil properties effecting yield formation in sugar beet under ridge and flat cultivation [J]. European Journal of Agronomy,2009,31(1):20-28.

[27]王旭清,王法宏,于振文,等. 垄作栽培对冬小麦根系活力和旗叶衰老的影响[J]. 麦类作物学报,2005,25(1):55-60.

Wang X Q, Wang F H, Yu Z W, et al. Effects of raised bed-planting cultivation on root activity and senescence of flag leaf in wheat[J]. Acta Tritical Crops, 2005, 25(1): 55-60.

[28]孙婴婴. 不同栽培模式对小麦根系发育的影响研究进展[J]. 现代农业科技, 2017(19): 4-6.
Sun Y Y. Research progress on effects of cultivation patterns on root development of wheat [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2017(19): 4-6.

[29]钱永德, 吕艳东, 周广欣, 等. 垄作对寒地水稻根系的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2005, 17(2): 9-13.
Qian Y D, Lü Y D, Zhou G X, et al. Affect of ridge tilth on roots growth of paddy planted in frigid zone[J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2005, 17(2): 9-13.

[30]李鹏宇. 基于垄沟集雨模式的轮作冬油菜-夏玉米适播期及适播密度研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2021.
Li P Y. Study on suitable sowing time and suitable sowing density of winter rape-summer maize rotation based on ridge and furrow rainwater harvesting model [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2021.

[31]雒淑珍. 绿洲灌区固定道垄作对春小麦养分运移和产量的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2008.
Luo S Z. Effects of permanent raised bed on nutrient movement and yield of spring wheat in oasis irrigation area[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2008.

Ridge cultivation enhances daylily yield and improves the rhizosphere soil environment

Kan Yiqin[1], Liu Yulan[1], Li Mingli[1], Xing Guoming[1], Ma Tao[2], Sun Sheng[1*]

(*1.College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030801, China; 2.High Latitude Crops Institute, Shanxi Agricultural University, Datong 037006, China*)

Abstract: [Objective] In order to increase the yield of daylily, the current study aimed to explore effective cultivation methods suitable for the Datong region. [Methods] From 2022-2023, Datong daylily was used as experimental material, and three cultivation methods, including ridge planting, flat planting, and furrow planting, were adopted. The impact of different planting patterns on daylily yield were investigated by measuring and analyzing the physicochemical properties of rhizosphere soil, root activity, and biomass of daylily. [Results] The results showed that: (1) Ridge planting significantly reduced soil bulk density and soil moisture content in the 0~20 cm soil layer, while increasing soil porosity. Compared to flat cultivation, soil bulk density in the 0~10 cm and 10~20 cm layers decreased by 4.88% and 3.37%, respectively. Soil moisture content decreased by 17.03% and 19.04%, respectively, while soil porosity increased by 8.28% and 7.33%, respectively. In furrow planting, soil moisture content in the 0~10 cm soil layer increased by 11.46% compared to flat planting. (2) Ridge planting increased soil temperature in the 0~20 cm soil layer, with the greatest temperature variation observed in the 0~5 cm surface layer. (3) Ridge planting increased soil sucrase and urease activity in the 0~30 cm soil layer, with the highest enzyme activity observed in the 0~10 cm soil layer. (4) During the leaf expansion, initial flowering, and full flowering stages of daylily, soil alkali-hydrolyzed nitrogen content under ridge planting increased by 81.12%, 111.42%, and 40.64%, respectively. (5) Ridge planting increased root activity by 21.36% during the bolting stage compared to flat planting. As the growth process progressed, root dry matter gradually increased, with ridge planting showing a 27.63% increase compared to flat planting during the full blooming stage. (6) The yield of ridge planting was significantly increased by 28.89% compared to flat planting. [Conclusion] Ridge planting improved soil temperature, soil porosity, soil enzyme activity, and soil nutrient content, creating a favorable ecological environment for daylily root growth and achieving high yield. Therefore, ridge planting is an efficient cultivation method for daylily in the Datong region.

Keywords: Daylily, Planting patterns, Output, Rhizosphere environment, Root development

(编辑:郭玥微)