

农牧交错带地区油葵适时播种气象条件分析

沈姣姣¹, 王靖^{2*}, 李建科¹, 潘学标², 徐虹¹, 高红燕¹

(1. 陕西省气象服务中心, 陕西 西安 710014; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘要: 为了研究农牧交错带不同播种期对油葵生长发育和产量形成以及水分利用效率的影响, 为农牧交错带地区油葵适期播种和高产栽培提供科学依据, 采用随机区组排列设计, 分析了武川地区超早播(4月28日)、早播(5月8日)、中播(5月18日)、晚播(5月28日)和超晚播(6月8日)五个不同播期下油葵生育期、形态指标、产量形成及水分利用效率的变化情况。结果表明: 播种期对油葵生育期、株高和叶面积指数影响显著。随播期推迟, 油葵生育期缩短, 播期每推迟10 d, 生育期平均缩短9 d, 生殖生长期在总生长期中的比例增加, 超晚播因积温不足无法正常成熟。晚播和超晚播叶面积指数显著高于其余播期, 超晚播最大叶面积指数在五个播期中最高。中播地上部干物重和花盘干重显著高于其余播期, 不同播期间花盘干重占地上部干物重的比例变化较大, 中播最高为59%, 超晚播最低为7%。超早播、早播和中播处理间产量和千粒重差异不显著, 平均为2 583 kg·hm⁻²和29.66 g, 显著高于超晚播。水分利用效率随播期推迟减小, 早播水分利用效率最高, 为11.9 kg·hm⁻²·mm⁻¹, 超晚播水分利用效率最低, 为5.5 kg·hm⁻²·mm⁻¹, 苗期适当干旱有利于油葵水分利用效率提高。建议农牧交错带油葵适宜播种期安排在5月中旬前后。

关键词: 油葵; 播种期; 生育期; 水分利用效率; 产量构成

中图分类号: S162.5⁺4; S565.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)03-0237-07

Analysis of suitable meteorological condition for planting oil sunflower in agro-pastoral ecotone

SHEN Jiao-jiao¹, WANG Jing², LI Jian-ke¹, PAN Xue-biao², XU Hong¹, GAO Hong-yan¹

(1. Shaanxi Meteorological Service Center, Xian, Shaanxi 710014, China;

2. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: In order to explore effects of different sowing dates on growth, development, yield formation and water use efficiency (WUE) of sunflower and provide a scientific basis for optimal sowing date and high yield of sunflower in Agro-pastoral Ecotone, the phenology, morphological index, yield formation and WUE of sunflower under five sowing-date treatments, including SE (April 28), E (May 8), M (May 18), L (May 28) and SL (June 8), were analyzed and compared using randomized block design based on a field experiment in WuChuan county. The results showed that: phenology, plant height and leaf area index (LAI) were significantly different under five sowing dates. Growing period of sunflower was shortened at a rate of 9 days on average with sowing date postponed by 10 days, length of reproductive stage in growing period was increased, except SL in which sunflower was unable to mature due to deficient thermal time. LAI under L and SL was significantly higher than that of the rest of sowing date. SL had the maximum LAI. Dry matter of aboveground plant and dry weight of faceplate under M were significantly higher than that under other sowing dates. Ratio of dry weight of faceplate to aboveground dry matter varied significantly among different sowing sates, the highest value (59%) and the lowest value (7%) appeared under M and SL respectively. As for as yield and 1000-grain weight is concerned, there was no significant difference between SE, E and M, reached 2 583 kg·hm⁻² and 29.66 g averagely, but they were obviously higher than that under SL. WUE decreased when sowing date was delayed, the highest value (11.9 kg·hm⁻²·mm⁻¹) and the lowest value (5.5 kg·hm⁻²·mm⁻¹) occurred under E and SL. The suitable drought during emergenc-

收稿日期: 2012-12-13

基金项目: 国家支撑计划项目课题(2012BAD09B02); 中国农业大学基本科研业务费项目(2012QJ164)

作者简介: 沈姣姣(1986—), 女, 山西运城人, 硕士, 主要研究方向为公共气象服务。

* 通信作者: 王靖(1980—), 男, 内蒙古集宁人, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为气候变化与适应性作物生产体系。E-mail: wangj@cau.edu.cn。

ing period was advantageous to improve the WUE. Middle May was recommended as appropriate sowing date of sunflower in Agro-pastoral Ecotone.

Keywords: sunflower; sowing date; phenology; WUE; yield formation

北方农牧交错带处于亚洲季风的尾间,是东部农耕区与西部草原牧区相连接的半干旱生态过渡带,降水主要集中于 6—8 月,占全年降水量的 60%~80%,年际间降水变率很大,丰雨年份降水量可达 500~600 mm,干旱年份则低于 250 mm,甚至不足 100 mm,是对气候变化响应最为敏感的区域之一^[1-2]。近几十年来,北方农牧交错带降水减少,温度升高,蒸发量加大,气候日益干旱,显著影响了该地区的作物生产力,农牧交错带粮食安全以及农业如何适应气候变化成了当前研究的热点。

油用向日葵(简称油葵)具有耐旱、耐盐碱、经济收入高的特点,近年来已成为我国继油菜、花生、芝麻等作物之后的新型油料作物,而且有望成为我国北方的第一大油料作物^[3]。内蒙古是我国最大的向日葵优势产区,种植面积约占全国向日葵总面积的 30%左右,油用向日葵约占总播种面积的 40%~45%^[4-5]。随着农业种植结构的调整和市场需要,油葵在种植业中所占比重越来越大。武川县位于内蒙古中部,距离呼和浩特市约 50 km,主要农作物种植结构由 1995 年以前的“麦类作物为主”逐渐转变为“马铃薯、油料为主”,油葵逐渐成为当地农户扩大再生产的主要经济来源之一^[6]。内蒙古中部地区是典型的旱作雨养农业区,旱害频繁发生,如何使油葵充分利用当地气候资源,尤其是稀有的自然降水资源,提高水分利用效率成为解决问题的关键。

目前关于向日葵的研究多集中于栽培技术方面^[7-9],也有研究涉及不同播种期对油葵生长发育的影响,如吴承杰等建议适时晚播,尽量使向日葵营养生长阶段处在高温多雨季节,营养生长充分,为生殖生长打下良好物质基础^[10];杨松等建议选用气温稳定通过 10℃ 初日作为河套灌区油用向日葵适宜播种期预报指标^[11];崔良基等研究发现,同化物在向日葵器官中的分配比例因播期不同有所变化^[12];赵文德等研究表明,同一播种期内,向日葵营养条件和密度必须适宜,过密了营养不良,粒数和粒重下降,影响产量^[13-14]。也有学者研究不同水分状态对农作物水分利用效率的影响^[15-20],但是目前尚没有研究系统地分析播种期对农牧交错带油葵生长发育、产量形成和水分利用效率的影响。

试验以油葵为研究对象,通过分析五个播期下不同气象条件组合对油葵生长发育和产量形成的影

响,探索播期对油葵生育期、形态指标、产量形成和水分利用效率的影响,为农牧交错带油葵适期播种和高产栽培提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 站点概述

试验于 2010 年在农业部呼和浩特农牧交错带生态环境重点野外科学观测试验站(41°06' N, 111°28' E, 海拔 1 756 m)进行,试验站地处内蒙古武川县,气候属干旱半干旱大陆性气候,年平均气温 2.7℃,0℃ 以上年积温平均为 2 578.5℃,多年平均降雨量为 350 mm,降水主要集中在 7~8 月份,占整个生长季的 80%左右,年蒸发量约是降水量的 5 倍多,无霜期 105 d 左右,年日照时数 2 955 h,太阳辐射 6 100 MJ·m⁻²,年平均风速 3 m·s⁻¹,土壤以栗钙土为主。

1.2 试验材料与方法

试验采用分期播种方法,共设置超早播(4 月 28 日)、早播(5 月 8 日)、中播(5 月 18 日)、晚播(5 月 28 日)和超晚播(6 月 8 日)五个播期,分别用 SE、E、M、L 和 SL 表示,随机区组设计,三个重复。小区面积 24 m²(4 m×6 m),南北行向,共 15 个小区,总面积 360 m²。供试品种为当地油葵主要品种“内葵杂强”,播种量为 60 000 株·hm⁻²,行距 50 cm,株距 40 cm,采用穴播方式。播前一次施入氮 35 kg·hm⁻²,磷 6 kg·hm⁻²,钾 23 kg·hm⁻²,其余时间不再做追肥处理。试验期间,为保证试验区内油葵能正常出苗及安全完成整个生育期进程,分别于 6 月 1 日、6 月 8 日和 7 月 26 日进行人工补水处理。

采用平行观测的方法,在油葵关键生育期(出苗、现蕾、开花、成熟),每隔 15 d 取一次样,每小区取样 2 株,测定株高、叶片数、花盘直径、鲜重。叶面积用便携式叶面积仪(LI-3000C)测定,换算成叶面积指数。分别将油葵植株茎、叶、花盘等各部分装袋,于干燥箱 105℃ 杀青 30 min 后,80℃ 烘干至恒重,称干物重。成熟期取 3 个重复,每个重复收获 6 m²,测定籽粒重量,折算成公顷产量。

气象数据来源于武川气象局,主要观测项目包括降水(mm)、最高和最低气温(℃)等。

试验数据用 Excel 2003 和 SPSS17.0 进行处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 播期对油葵发育期的影响

播期调整引起不同时间播种的油葵生长期内各

生育阶段所处的气象条件发生变化,从而影响生长发育进程。表 1 列出了 2010 年五个不同播期下油葵生育期间降水分布情况(其中 6 月 1 日、6 月 8 日和 7 月 26 日为人工补水)。

表 1 2010 年油葵生育期内降雨(含补水)情况
Table 1 Precipitation (and watering) in growing period of sunflower in 2010

日期(月-日) Date(m-d)	降雨量/mm Precipitation	日期(月-日) Date(m-d)	降雨量/mm Precipitation	日期(月-日) Date(m-d)	降雨量/mm Precipitation
04-25	6.0	07-10	2.5	08-18	4.6
05-04	3.0	07-15	1.8	09-07	11.8
05-14	1.0	07-21	5.4	09-16	12.4
05-17	4.5	07-26(补水 Watering)	42.4	09-18	9.7
05-18	2.2	07-30	9.9	09-20	16.1
05-26	5.3	08-02	25.0	10-01	22.0
06-01(补水 Watering)	13.1	08-07	47.8	10-10	27.8
06-17	7.6	08-08	3.8	10-22	10.2
06-28(补水 Watering)	38.2	08-11	5.7		
07-09	6.4	8-12	6.1		

分析发现,油葵出苗速率随播期推迟加快,出苗所需日数与播种至出苗期间 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温(0.81)和降水量(0.79)相关性较好。超早播(SE)和早播(E)苗期气温较低,水分不足(平均为 11°C ,降水量为14 mm),加上农牧交错带初春时节天气变化频繁,风沙较大加剧土壤蒸发,阻碍了油葵正常出苗。晚播(L)出苗期平均气温升高至 18°C ,适时人工补水(13.1 mm)为幼苗根系萌发提供了必需的水分,仅需18 d即可出苗。超晚播(SL)播种至出苗期间连续37 d日平均气温达 21°C ,且无明显降水过程,仅6月28日人工补水38.2 mm,土壤长期干旱无法得到及时缓解,出苗时间延长至37 d。试验结果表明,油葵种子发芽出苗需要一定的积温方可进行,当日均

温 $16^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温达到 $300 \sim 400^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,同时满足 $10 \sim 20\text{ mm}$ 有效降水,则油葵容易出苗。

由表 2 可见,随播期推迟,油葵出苗至开花速率加快,营养生长期明显缩短,超早播(SE)需要92 d,晚播(L)需要72 d。由于当地6、7月份干旱少雨,超晚播(SL)出苗时间大大延长(37 d),整个营养生长期延至79 d。总体而言,油葵生育期天数随着播期推迟缩短,播期每推迟10 d,生育期平均缩短9 d,超早播(SE)生育期最长为143 d,超晚播(SL)由于生育后期遭遇低温霜冻无法正常成熟,整个生长期仅109 d。伴随营养生长进程加快,油葵生殖生长阶段占整个生育期的比例增大,超早播(SE)最少为36%,早播(E)和中播(M)为38%,晚播(L)最大为39%。

表 2 不同播期油葵发育期间隔日数
Table 2 Intervals between growth stages of sunflower under different sowing dates

发育期 Growth stage	播种期(月-日) Sowing date(m-d)				
	SE(04-28)	E(05-08)	M(05-18)	L(05-28)	SL(06-08)
播种~出苗 Sowing~Emergence/d	28	26	24	18	37
出苗~现蕾 Emergence~Squaring/d	45	41	40	39	30
现蕾~开花 Squaring~Flowering/d	19	18	15	15	12
开花~成熟 Flowering~Maturation/d	51	51	48	47	30
营养生长天数(播种~开花)/d Days of vegetative growth(Sowing~Flowering)	92	85	79	72	79
生殖生长天数(开花~成熟)/d Days of reproductive growth(Flowering~Maturation)	51	51	48	47	30
生育期天数 Days of growth period/d	143	136	127	119	109
生殖生长期占整个生育期比例 Ratio of reproductive stage in whole period/%	36	38	38	39	28

不同播期油葵生育期差异显著,随播期推迟,油葵营养生长进程和生殖生长进程均加快,整个生育期缩短,生殖阶段占整个生育期的比例增大,同化物积累时间大大延长。农业生产中应尽量延长油葵生殖生长期,扩大生殖生长期在整个生育期中所占比例,达到高产目的。

2.2 播期对油葵形态指标的影响

2.2.1 播期对油葵株高的影响 由图 1 可以看出,不同播期油葵株高变化趋势基本一致,呈“快速增加—缓慢增加—稳定”的增长趋势,于开花期达到最大值。苗后 15 d,超早播(SE)和早播(E)植株瘦弱矮小(平均为 27 cm),显著低于其余播期(52 cm),主要原因在于超早播(SE)和早播(E)此段时间内积温不足, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温仅 $266(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}^{-1})$ 和 $274(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}^{-1})$,而随后播期该时段内 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温依次可达 $329(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}^{-1})$ 、 $339(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}^{-1})$ 和 $376(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}^{-1})$,积温对植株幼苗伸长表现出正效应。

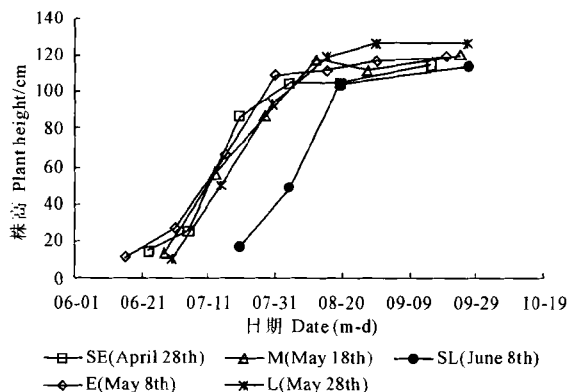


图 1 不同播期油葵株高变化

Fig.1 The comparison of plant height of sunflower under different sowing dates

现蕾至开花期是油葵旺盛生长期,也是水分临界期,中播(M)和晚播(L)生育期内降水量差异不显著(278 mm 和 270 mm),但是中播(M)油葵现蕾至开花期降水量(76 mm)远少于晚播(L)(120 mm),导致其株高表现出显著差异(中播(M)108 cm,晚播(L)127 cm)。超晚播(SL)苗后 15 d 降雨量达 60 mm,加上环境温度适宜(23°C),株高增长速率显著高于其余播期,达到 $1.9\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$ 。收获时,各播期处理株高差异不显著,平均为 120 cm。

不同播期对油葵株高的影响主要体现在苗期和现蕾前后,农牧交错带地区早春气温低,积温不足易导致过早播种的油葵茎秆伸长受阻;在生育期总降水量无明显差异的情况下,降水时间分配对油葵株高起关键性作用,现蕾至开花期水分充足可刺激油

葵茎秆进一步伸长。

2.2.2 播期对油葵叶面积指数的影响 分析图 2 发现,超早播(SE)、早播(E)和中播(M)叶面积指数在盛花期达到最大,花后 25~30 d 左右茎秆基部叶片开始衰老死亡,叶面积指数下降,超早播(SE)和早播(E)苗期气温较低(分别为 11°C 和 12°C),水分不足(分别为 16 mm 和 13 mm),根系吸收水分困难,叶片少且弱。晚播(L)和超晚播(SL)叶面积指数显著高于其余播期,收获前绿色叶片持续时间长,光合时间大大延长,为后期花盘发育和籽粒灌浆提供丰富物质基础。

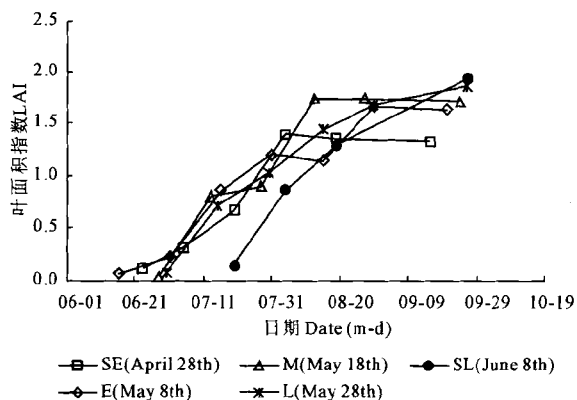


图 2 不同播期油葵叶面积指数变化

Fig.2 The comparison of LAI of sunflower under different sowing dates

整个生育期中,油葵最大叶面积指数随播期推迟增加,依次为 1.40、1.67、1.75、1.86 和 1.94。超早播(SE)、早播(E)和中播(M)营养生长期降雨量差异不大,平均降雨量 169 mm,晚播(L)和超晚播(SL)该阶段内降雨量分别达到 206 mm 和 213 mm,充足水分地上部叶片扩展提供了有利保障,叶面积增长速率高达 $33.79\text{ cm}^2\cdot\text{株}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 $43.77\text{ cm}^2\cdot\text{株}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$,叶片数平均增加 4 片 $\cdot\text{株}^{-1}$ 。当 9 月下旬低温冷害来临时,超晚播(SL)不得不提前收获,却仍有部分绿色叶片存在,叶面积指数达 1.94,为五个播期中最大值。

油葵是喜温作物,但幼苗期若最低气温 $\leq 4^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$ 时,叶片就会受到轻微冻害。2010 年 4 月下旬武川日平均气温仅 1.7°C ,冻土层尚未完全消融,气温骤变频繁,油葵叶片分化和伸展受限,叶面积指数偏低。播种期推迟到 5 月中旬后,日平均气温 $\geq 16^{\circ}\text{C}$,水热条件可以满足地上部营养生长,叶片数增加,叶面积指数增大,但生育后期(9 月中下旬)应防御低温霜冻威胁。

2.3 播期对油葵地上部干物质积累和分配的影响

不同播期处理引起油葵各生育阶段所处的气象

条件不尽一致,从图3(a)可以看出,油葵地上部干物重在播期间差异显著,中播(M)地上部干物质积累最多,收获时达 $160.55\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$,超晚播(SL)仅 $50.61\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$,偏相关分析得知,油葵地上部干物重与生育期内 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温和总降水量相关性均达到0.95。

油葵地上部干物重积累速率在播期间略有差异,但多在开花前后5~7 d左右达到最大,中播(M)在开花至成熟期间干物质积累速率最快($2.06\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$),其次为超早播(SE)和早播(E),分别

为 $1.58\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 $1.47\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$,晚播(L)和超晚播(SL)干物质积累较慢(分别为 $1.24\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 $0.35\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)。相关分析得知,油葵地上部干物重积累速率与生殖生长期总积温和 $\geq 5^\circ\text{C}$ 积温相关性分别达到0.97和0.90,与日均温相关性较弱(0.25),油葵灌浆期宜持续晴热天气,但连续高温会加快植株蒸腾,花粉粒丧失水分,干物质积累速率减缓。

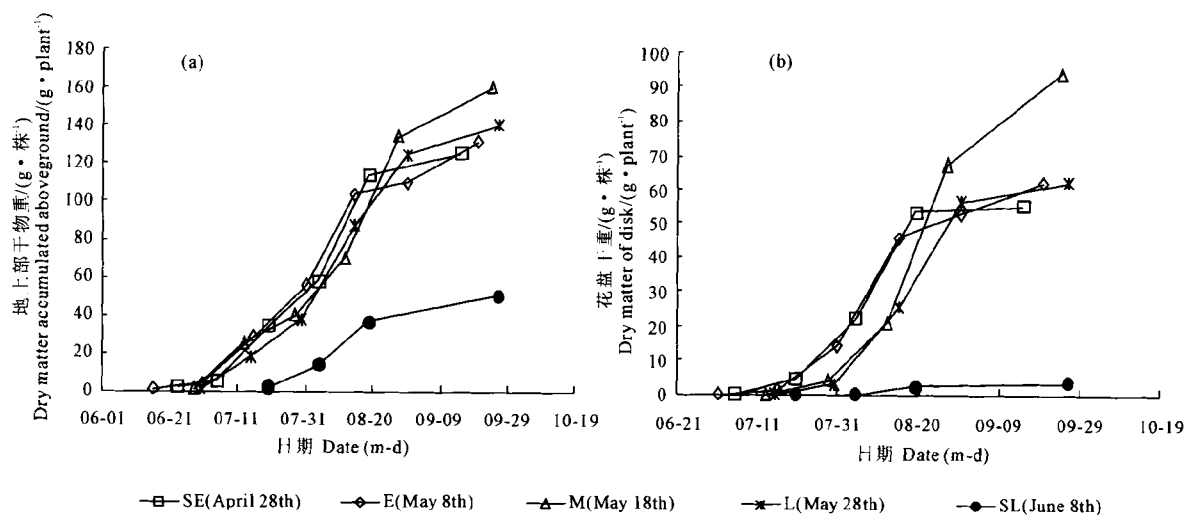


图3 不同播期油葵地上部干物重(a)和花盘干重(b)变化

Fig. 3 Dry matter accumulated aboveground of sunflower (a) and dry weight of faceplate (b) under different sowing dates

播期变化对油葵地上同化物在器官间分配影响显著(图略),随播期推迟,茎干重占地上部干物重比例先增加后降低,多在7月下旬达到最大值,生育期结束时,超晚播(SL)茎干重占地上部干物重比例明显高于其余播期(达47.3%),中播(M)最低达25.0%。整个生育期过程中,叶干重占地上部干物重持续下降,收获时除超晚播(SL)达到45.8%外,其余播期差异不大(平均为20.3%)。随着生育期进行,油葵花盘干重占地上部干物重比例持续增加,收获时不同播期花盘干重占地上部干物重比例差异较显著,中播(M)最高为59%,早播(E)为47%,超早播(SE)和晚播(L)为44%,超晚播(SL)最低为7%。所以,农业生产中应最大程度保证油葵地上部营养器官如茎叶中积累的同化产物及时转移到花盘中,避免生育前期气候资源白白浪费。

随播期推迟,油葵花盘干重与地上部干物重变化趋势基本一致(图3(b)),籽粒灌浆期,花盘干重积累速率先快后慢,收获时超晚播(SL)仍处于籽粒灌浆期,光合同化产物未来得及完全转移到花盘中,空瘪率较高,花盘干重显著少于其余播期。不同播期花盘干重占地上部干物重比例与各播期生殖阶段

持续时间相关性达到0.91。除超晚播(SL)外,不同播期油葵花盘直径差异不显著,超早播(SE)和早播(E)均为23 cm,中播(M)和晚播(L)均为24 cm,超晚播(SL)为6 cm。

5月中旬之前播种的油葵可在生育期结束时将茎秆和叶片中积累的同化物转移到花盘中,改善植株经济性状,提高经济产量,最大程度上满足农户种植需求;若将播种期推迟到6月份之后,油葵无法完成生育期进程,生育期内光、温、水资源大大浪费,所以生产中农户应想方设法延长生殖生长期。

2.4 播期对油葵籽实产量和千粒重的影响

播期处理对油葵产量影响显著,5月中旬前播种,油葵产量随播期推迟增加,5月中旬后播种,产量随播期推迟迅速降低。2010年五个播期试验中,中播(M)产量最高为 $2\,720\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,与超早播(SE)和早播(E)产量无显著差异,与晚播(L)和超晚播(SL)差异分别达到显著和极显著水平(表3)。油葵产量与开花至成熟阶段气象因子相关性较好,相关性大小依次为:日照时数(0.92) > 0°C 以上积温(0.91) > 降雨量(0.87) > 平均温度(0.78)。油葵花粉授粉的最佳温度为 25°C ,2010年整个生育期内仅

6 月 20 日至 8 月 3 日间日平均温度在 20℃ ~ 27℃，此时晚播(L)和超晚播(SL)仍处于现蕾期，随着生育期推迟,低温冷害和昆虫不足抑制授粉,花盘空瘪率较高,产量降低。

表 3 不同播期油葵籽粒产量和千粒重
Table 3 Yield and 1000-grain weight of sunflower under different sowing dates

播期 Sowing date	产量 Yield (10 ³ kg·hm ⁻²)				千粒重 1000-grain weight/g			
	I	II	III	平均 Average	I	II	III	平均 Average
SE	2.27	3.15	1.97	2.46abA	29.98	31.11	28.41	29.83aA
E	2.47	3.07	2.18	2.57abA	26.97	30.12	30.06	29.05aA
M	2.97	2.85	2.35	2.72aA	28.93	29.22	32.14	30.10aA
L	2.38	2.45	1.45	2.09bA	28.74	26.89	27.03	27.55aA
SL	1.13	2.07	0.68	1.29cB	19.45	20.34	16.30	18.70bB

除超晚播(SL)外,不同播期油葵千粒重差异不显著,平均为 29.13 g,中播(M)千粒重最高为 30.10 g。超早播(SE)和中播(M)生育期间分别出现 8 个和 9 个降雨日,降雨量达到 114.6 mm 和 118.0 mm,而早播(E)开花至成熟期间共出现 10 个降雨日,总降雨量达 136.8 mm,雨水过多冲刷影响授粉,千粒重降低。油葵开花至成熟期间宜晴朗天气(350 ~ 400 h 日照)和 130 ~ 150 mm 水分供应,农牧交错带地区油葵适宜播种期应尽量安排在 5 月中旬前后,水热条件适宜,花盘籽粒饱满,经济性状好,产量也高。

2.5 播期对油葵水分利用效率的影响

试验站 2010 年 4 月 28 日至 5 月 8 日期间降雨不足,加上早春时节土壤蒸发剧烈,引起土壤失墒严重,早播(E)处理前土壤水分含量仅 119.9 mm。随着土壤温度逐渐升高,深层土壤开始消融,土壤中液态水增加,加上 5 月 8 日至 5 月 18 日期间出现 15.1 mm 降水,使中播(M)前土壤含水量相对较高,为 187.8 mm。

分析表 4 发现,超早播(SE)、早播(E)和中播(M)水分利用效率差异不显著,平均为 10.7 kg·hm⁻²·mm⁻¹,其次为晚播(L)(9.2 kg·hm⁻²·mm⁻¹),超晚播(SL)水分利用效率最低为 5.5 kg·hm⁻²·mm⁻¹。早播(E)播前底墒不足,整个生育期耗水量最少,水分利用效率最高为 11.9 kg·hm⁻²·mm⁻¹,中

播(M)生育期内降雨量最多,耗水量也最大,产量最高,但是水分利用效率并非最高,巴特尔对油葵不同灌水模式的处理试验结论也表明“产量最高的处理水分利用效率并不是最高”的结论^[21],推断可能是由于超早播(SE)和早播(E)苗期缺水刺激了植株根系向下向侧伸展能力增强,从土壤中汲取更多水分和养分,利于油葵生长发育和后期产量形成,进而提高水分利用效率。

根据本试验研究结果,建议农牧交错带地区在油葵品种和年型一致的情况下,将其适宜播种期安排在 5 月中旬前后,播前土壤墒情较好,苗期适当干旱可以提高自然降水生产效率,实现高产高效。5 月下旬后播种,播前土壤墒情较差,虽然生育期内降水充分,但是植株水分利用效率不高,籽粒空瘪,产量也不高。

3 结 论

1) 农牧交错带地区初春时节天气变化频繁,播种过早,积温降水不足,油葵出苗困难,叶片分化受阻,植株矮小;随播期推迟,油葵生长速率加快,生育期缩短,生殖生长期占整个生育期的比例增加,地上部生长健壮。但 6 月后播种,土壤墒情差,出苗时间延长,生育后期易遭受低温霜冻。在降水总量一致的情况下,苗期和现蕾前后水分充足对茎秆伸长有利。

表 4 不同播期油葵水分利用效率
Table 4 WUE of sunflower under different sowing dates

播期 Sowing date	播前水分/mm Water before sowing	收获时水分/mm Water in harvesting time	降水量/mm Precipitation	耗水量/mm Water consumption	产量 /(kg·hm ⁻²) Yield	水分利用效率 /(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹) WUE
SE	154.2	158.4	247.9	243.7	2461.1	10.1
E	119.9	170.4	267.0	216.5	2572.2	11.9
M	187.8	193.8	277.7	271.7	2722.2	10.0
L	149.6	192.7	270.2	227.1	2094.4	9.2
SL	145.2	168.9	257.2	233.5	1294.4	5.5

2) 提前播种,苗期适当干旱有利于油葵根系吸取土壤深层水分,但籽粒灌浆期恰遇降水高峰,雨水冲刷影响授粉;随播期推迟,水热条件适宜,干物质积累速率加快,千粒重和产量明显增加。但若推迟到5月下旬后播种,油葵灌浆期气温较高,蒸腾加剧,水分利用效率不高,生育后期又遇低温,干物质有效积累时间不足,茎秆和叶片中光合产物无法及时转移到花盘中,籽粒空瘪,产量不高。

3) 从光热水资源 80% 保证率分析,综合考虑农牧交错带油葵生育特点、水分利用效率和产量等因素,建议在品种和年型一致的情况下,将油葵适宜播种期安排在5月中旬,进一步研究应与作物生长模型相结合,分析农牧交错带油葵在不同年型和品种条件下的最佳播期。

参考文献:

- [1] 赵哈林,赵学勇,张铜会.北方农牧交错带的地理界定及其生态问题[J].地球科学进展,2002,17(5):739-747.
- [2] 李广,黄高宝.北方农牧交错带气候变化及草地生产力的响应——以甘肃省定西县为例[J].中国草地,2005,27(1):7-11.
- [3] 王燕飞,胡启林,贾作忱,等.气候因素对油用向日葵籽实含油率的影响[J].西北农业学报,1996,5(1):63-66.
- [4] 张立华.内蒙古向日葵生产的现状及发展对策[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2006.
- [5] 郭富国,安玉麟,门果桃,等.内蒙古中西部地区向日葵发展优势及对策[J].内蒙古农业科技,2003,(5):4-6.
- [6] 杨泽龙,李长生,杨晶,等.内蒙古武川县主要作物种植对气候变化的响应分析[J].中国农学通报,2010,26(3):306-310.
- [7] 妥德宝,安昊,张君,等.国内外向日葵施肥栽培技术发展现状与发展趋势[J].内蒙古农业科技,2010,(6):1-2.
- [8] 孔东,史海滨,魏占民,等.干旱区不同水盐处理对向日葵生理性状的影响研究[J].灌溉排水学报,2004,23(1):44-46.
- [9] Khalifa F M. Some factors influencing the development of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under dry - farming systems in Sudan[J]. The Journal of Agricultural Science, 1981,97(1):45-53.
- [10] 吴承杰.向日葵适时晚播的气象条件[J].气象,1992,18(2):50-51.
- [11] 杨松,刘俊林,卢淑贤,等.河套灌区向日葵适宜播种农业气象指标研究[J].中国农学通报,2009,25(11):176-179.
- [12] 崔良基,董钻,梁国战,等.不同播期和不同肥力条件下向日葵干物质形成和物质分配对杂交种产量的影响[J].杂粮作物,2002,22(5):280-284.
- [13] 赵文德,刘乡林.提高向日葵结实率的研究[J].中国油料作物学报,1981,(2):30-34,5.
- [14] José F C B, Mário D C, Gottlieb B. Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to sowing date and plant density under Mediterranean conditions[J]. European Journal of Agronomy, 2004,21(3):347-356.
- [15] Unger, P W. Planting date effects on growth, yield, and oil of irrigated sunflower[J]. Agronomy Journal, 1980,72(6):914-916.
- [16] Göksoy A T, Demirb A O, Turana Z M, et al. Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages[J]. Field Crops Research, 2004,87(2-3):167-178.
- [17] 沈姣姣,王靖,陈辰,等.播种期对农牧交错带莜麦生长发育和产量形成的影响[J].中国农学通报,2011,27(15):52-56.
- [18] 单玉芬,王立坤,马永胜,等.不同水分亏缺对向日葵产量、水分利用效率及经济效益的影响[J].东北农业大学学报,2010,41(7):70-73.
- [19] Flagella Z, Rotunno T, Tarantino E, et al. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime[J]. European Journal of Agronomy, 2002,17(3):221-230.
- [20] 沈姣姣,王靖,潘学标,等.播种期对农牧交错带马铃薯生长发育和产量形成及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(2):137-144.
- [21] 巴特尔·巴克,郑大玮,段树强,等.灌水模式对油葵耗水量产量及经济效益的影响[J].节水灌溉,2006,(3):1-3.

(上接第199页)

- [8] 雷志栋,杨诗秀,许志荣.土壤特性空间变异性初步研究[J].水利学报,1985,(9):10-21.
- [9] 胡克林,陈德立.农田土壤水分和盐分的空间变异性及其协同克立格估值[J].水科学进展,2001,12(4):460-466.
- [10] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,1999.
- [11] 甘海华,彭凌.云江门市新会区耕地土壤养分空间变异特征[J].应用生态学报,2005,16(8):1437-1442.
- [12] 朱庭芸,何守成.滨海盐渍土的改良和利用[M].北京:中国农业出版社,1985:1-11.
- [13] 雷志栋,杨诗秀,谢森传.土壤水动力学[M].北京:清华大学出版社,1988.
- [14] 王政权.地质统计学及在生态学中的应用[M].北京:科学出版社,1999.
- [15] Cambardella C, Moorman T, Novak J, et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1994,58(5):1501-1511.
- [16] Trangmar B B, Yost R S, Uehara G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties[J]. Advances in Agronomy, 1986, 38:45-94.
- [17] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, et al. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. Soil Sci Soc Am, 1994,58(5):1501-1511.