

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

沈姣姣^{1,2}, 王靖^{1,3}, 潘学标^{1,3}, 冯利平¹, 赵沛义³, 陈辰^{1,3}

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

3. 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, 内蒙古 呼和浩特 011705)

摘要: 为了研究不同播种期对农牧交错带马铃薯生长发育和产量形成以及水分利用效率的影响, 为农牧交错带马铃薯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)五个播期下马铃薯生育期、形态指标、产量形成和水分利用效率的变化情况。结果表明: 播种期对马铃薯生育期、株高和叶面积指数影响显著。随播期推迟, 马铃薯生育期缩短, 播期每推迟10 d, 生育期平均缩短6 d, 而生殖生长期在总生长期中的比例增加, 超早播和超晚播处理下分别为45%和59%。超早播和早播马铃薯地上部干物质积累显著低于其余播期, 不同播期处理薯块鲜重增长符合Logistic生长曲线, 播期间马铃薯总产量、大薯产量和大薯率差异均达显著水平, 其中中播、晚播和超晚播产量差异不显著, 平均达21 593 kg/hm², 超早播和早播产量平均为15 181 kg/hm²。马铃薯水分利用效率随播期推迟增加, 超早播为45.2 kg/(hm²·mm), 超晚播为86.3 kg/(hm²·mm)。建议农牧交错带马铃薯适宜播种期安排在5月中下旬。

关键词: 播种期; 生育期; 产量构成; 水分利用效率; 马铃薯

中图分类号: S342.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)02-0137-08

北方农牧交错带是连接东部农耕区与西部草原区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%, 年际间降水变率大, 丰雨年份降水可达500~600 mm, 干旱年份则低于250 mm, 甚至不足100 mm^[1], 是对气候变化响应最为敏感的区域之一^[2]。近几十年来, 北方农牧交错带降水减少, 温度升高, 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^[3]。

分期播种试验可分析不同气象条件对作物生长发育的影响, 已被广泛用于作物适宜播种期的选择。当前已有大量研究集中于播种期对小麦、玉米和大豆等作物的影响。如适期播种冬小麦穗数和穗粒数最高, 晚播下最低^[4], 而千粒重随播期推迟变化趋势不一致^[5-6]; 玉米各播期出苗速率差异显著^[7], 产量随播期的变化不明显^[8]; 大豆生育期随播期推迟表现出不同程度的缩短, 单株粒数、百粒重和产量差异显著^[9-10]等。

马铃薯是世界主要粮食作物之一, 也是农牧交错带主要的特色作物之一, 目前国外关于播期对马

铃薯影响的研究较多^[11-13], 而国内关于播期对马铃薯的研究多集中于产量形成方面^[14-18], 尚没有研究系统地分析播种期对马铃薯生长发育、产量形成和水分利用效率的影响。随着农业种植结构的调整和市场需要, 马铃薯在种植业中所占比重越来越大^[19], 武川县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”, 若按本区光热潜势估算, 其鲜重每667 m²可达6 200 kg^[20], 但是该区自然条件恶劣, 耕作粗放, 通过栽培管理使马铃薯生长更好地利用当地水热资源, 成为提高产量的重要途径。

本试验以马铃薯为研究对象, 通过分析五个播期下不同气象条件组合对马铃薯生长发育和产量形成的影响, 探索播期对马铃薯生育期、形态指标、产量形成和水分利用效率的影响, 为农牧交错带马铃薯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

收稿日期: 2011-09-11

基金项目: 中国农业大学基本科研业务费项目(2009JD32, 2010JS114); 中国农业大学-内蒙古农业大学科研合作基金

作者简介: 沈姣姣(1986—), 女, 山西运城人, 硕士研究生, 研究方向为气候变化对农牧交错带农作物生长的影响。E-mail: 053431211@163.com。

通讯作者: 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。

生态环境重点野外科学观测试验站(41°06'N, 111°28'E, 1 756 m) 进行, 试验站地处内蒙古武川县, 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, 年蒸发量约为降水量的 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/m², 年平均风速 3 m/s, 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。供试品种为当地马铃薯主要品种费乌瑞它, 播种量为 60 000 穴/hm², 行距 50 cm, 株距 40 cm, 采用穴播方式。播前一次施入氮 35 kg/hm², 磷 6 kg/hm², 钾 23 kg/hm², 其余时间不再做追肥处理。试验期间, 为保证试验区内马铃薯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, 马铃薯各关键生育期(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、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。分别将马铃薯植株茎、叶等各部分装袋, 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, 测定大薯个数、大薯产量、中小薯个数、中小薯产量、总个数和总产量, 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 EXCEL2003 和 DPS3.0 进行处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 播期对马铃薯发育期的影响

农牧交错带马铃薯生长期为 100 ~ 120 d 左右, 所需积温为 2 000 ~ 2 200℃, 播期调整引起不同时间播种的马铃薯生长期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 年五个不同播期内马铃薯生育期内降水情况(其中 6 月 1 日、6 月 8 日和 7 月 26 日为人工补水)。

表 1 2010 年马铃薯生育期内降雨(含补水)情况

Table 1 Precipitation (and watering) in growing period of potato 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	08-12	6.1		

由图 1 可见, 播种至出苗日数主要由温度决定, 分析得知, 2010 年五个处理中马铃薯出苗速率与播种至出苗期间日均温相关性为 0.96, 达到显著水平, 与播种至出苗期间降水量(含人工补水量)相关性不显著。

由表 2 可见, 随着播期推迟, 马铃薯播种至出苗和出苗至现蕾间隔日数减少, 超早播(SE)和早播(E)生育期总天数相差不大, 平均为 122 d, 中播

(M)、晚播(L)和超晚播(SL)生育期天数逐渐缩短, 超晚播(SL)最短仅 104 d。播期每推迟 10 d, 生育期平均缩短 6 d。随播期推迟, 马铃薯营养生长期天数减少, 生殖生长期占整个生育期的比例增加, 超早播(SE)最低为 45%, 超晚播(SL)最高为 59%。

不同播期马铃薯生育期差异显著, 随着播期推迟, 马铃薯出苗速率加快, 整个生育期缩短, 营养生长进程加快, 生殖生长期占整个生育期的比例增加。

表 2 不同播期马铃薯发育期间隔日数(d)
Table 2 The intervals between growth stages of potato under different sowing dates

项目 Item	播种期 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	42	34	29	29	25
出苗 ~ 现蕾 Emergence ~ squaring	24	23	19	19	18
现蕾 ~ 开花 Squaring ~ flowering	7	8	10	9	8
开花 ~ 成熟 Flowering ~ maturation	48	58	57	54	53
生育期天数 Days of growth period	121	123	115	111	104
营养生长天数(播种 ~ 现蕾) Days of vegetative growth(sowing ~ squaring)	66	57	48	48	43
生殖生长天数(现蕾 ~ 成熟) Days of reproductive growth(squaring ~ maturation)	55	66	67	63	61
生殖生长期占整个生育期比例 Ratio of reproductive stage in whole period (%)	45	54	58	57	59

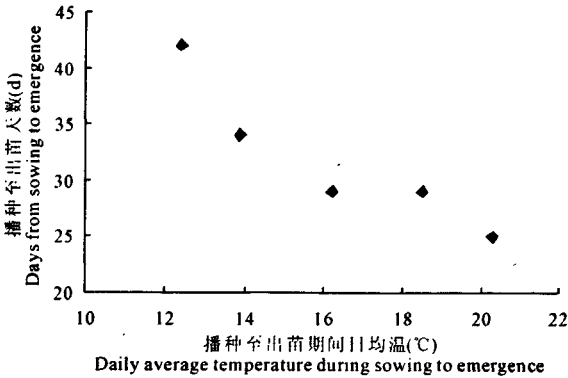


图 1 马铃薯播种至出苗日数与温度的关系
Fig.1 Correlation between days from sowing to emergence and daily average temperature

2.2 播期对马铃薯形态指标的影响

2.2.1 播期对马铃薯株高的影响 分析不同播期马铃薯株高变化曲线(图 2)发现,马铃薯株高呈现“快速增加—缓慢增加—稳定”的变化趋势。中播

(M)、晚播(L)和超晚播(SL)苗后 15 d 株高分别达到 16、15 cm 和 18 cm,超早播(SE)和早播(E)仅为 7 cm 和 6 cm,原因在于超早播(SE)和早播(E)苗期水分不足,气温较低,幼苗长势差。7 月下旬降水总量达到 76 mm,前四播期均已经进入块茎膨大期,超晚播(SL)处于块茎形成期,由于雨水充分,株高增加明显。块茎形成中后期是营养生长与生殖生长并进的阶段,株高增加趋势不明显,平均增长速率为 0.19 cm/d。块茎膨大后期,光合同化产物优先供应地下部块茎,株高不再增加。生育期结束时,超早播(SE)、早播(E)和晚播(L)马铃薯株高差异不大,分别达到 39、37 cm 和 39 cm,中播(M)和超晚播(SL)株高分别达到 46 cm 和 55 cm。

不同播期马铃薯株高差异显著表明:气温低和土壤水分不足是影响 5 月 8 日之前播种的马铃薯幼苗长势差的主要原因,只要水分条件满足,马铃薯株高可持续增加直至植株进入块茎形成中后期,最晚播种的马铃薯生育期结束时株高最高。

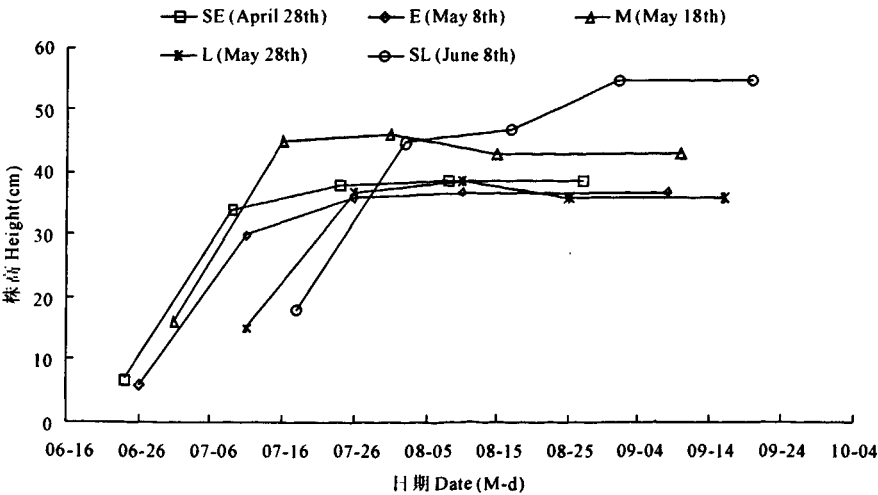


图 2 不同播期马铃薯株高变化
Fig.2 The comparison of plant height of potato under different sowing dates

2.2.2 播期对马铃薯叶面积指数的影响 分析图 3 发现,不同播期马铃薯生育期内叶面积指数经历“上升—稳定—降低”的过程,超早播(SE)和早播(E)生育期内叶面积指数显著低于其它播期,最大叶面积指数分别为 1.62 和 1.83。五个播期中,晚播(L)叶面积指数达到 2.55,中播(M)和超晚播(SL)分别为 2.35 和 2.25。

幼苗期,超早播(SE)和早播(E)叶面积增长速率平均为 $40.5 \text{ cm}^2/(\text{株}\cdot\text{d})$,低于中播(M)、晚播(L)和超晚播(SL),依次为 51.3 、 $50.4 \text{ cm}^2/(\text{株}\cdot\text{d})$ 和 $68.9 \text{ cm}^2/(\text{株}\cdot\text{d})$,关键原因在于超早播(SE)和早播(E)苗期气温较低,降水不足(8.3 mm 和 8.9 mm)。

超晚播(SL)在块茎形成初期降水充分,日均温达 25.3°C ,叶面积增长速率最快,达到 $105.9 \text{ cm}^2/(\text{株}\cdot\text{d})$,晚播(L)在块茎形成中后期降水充足(123.5 mm)缓解了前期干旱,叶面积增幅最大($177.4 \text{ cm}^2/(\text{株}\cdot\text{d})$)。块茎膨大期,马铃薯以地下部生长为主,叶面积增长速率下降至叶片枯黄凋落。

不同播期马铃薯叶面积指数差异显著表明:播期调整对马铃薯叶面积指数在整个生育期内变化趋势影响不显著,外界温水条件不足直接影响早播处理幼苗叶片扩展,块茎形成中后期水分充足可使植株叶面积指数进一步增加。

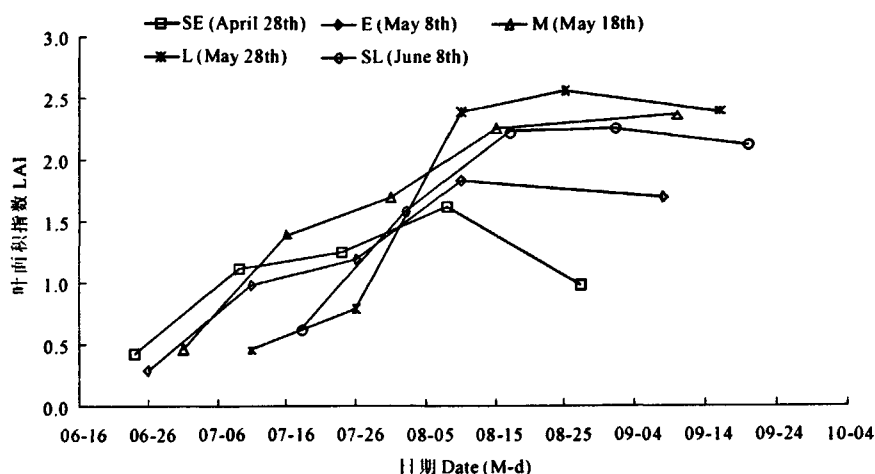


图 3 不同播期马铃薯叶面积指数变化

Fig. 3 The comparison of LAI of potato under different sowing dates

2.2.3 播期对马铃薯地上部干物质积累的影响 图 4 给出了不同播期单株马铃薯地上部干物质积累曲线,块茎形成初期,除水分不足导致晚播(L)地上部干物质积累较少(12.83 g/株)外,其余播期处理

地上部干物重差异不显著(平均为 19.19 g/株)。块茎形成中后期,超早播(SE)和早播(E)处于干旱胁迫下,茎叶生长缓慢,植株矮小,干物质积累较少,其后生育期地上部干物质积累一直显著低于其余播期。

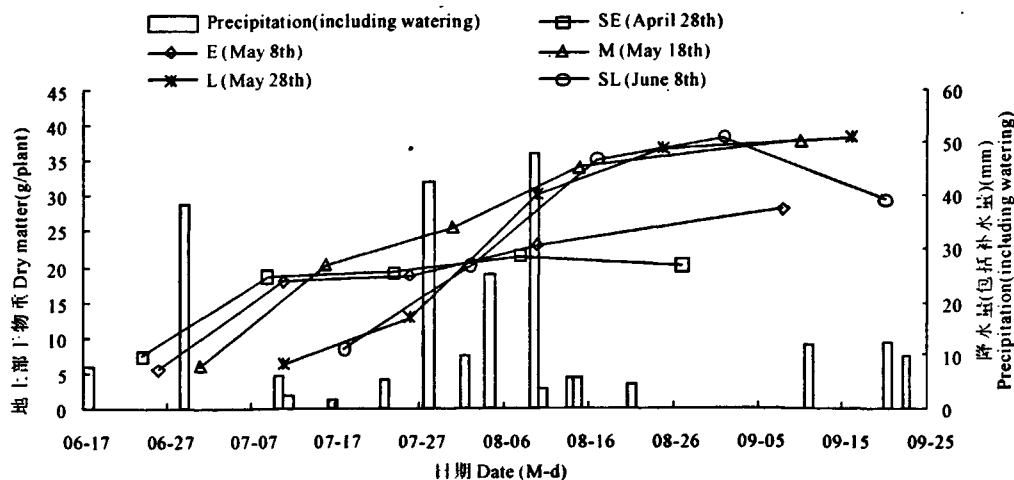


图 4 不同播期马铃薯地上部干物质积累与降水量(6月28日和7月26日进行人工补水)

Fig. 4 Accumulated aboveground dry matter of potato under different sowing dates and precipitation (watering at 28th June and 26th July)

超早播(SE)和超晚播(SL)出苗后 60 ~ 65 d 左右进入块茎膨大后期,光合积累产物主要用于地下块茎生长,地上部生长结束,随着叶片枯黄凋落,植株干物重分别在 8 月上旬和 8 月下旬开始下降,此时早播(E)、中播(M)和晚播(L)仍处于块茎膨大期,马铃薯地上部干物重略有增加,但增加趋势不明显,平均为 0.23 g/(株·d)。

不同播期马铃薯地上部分干物质积累差异显著表明:农牧交错带地区水分不足是影响马铃薯地上部干物质积累的主要限制因子,早期植株长势弱直接影响后期生长发育。过早(4 月份之前)和过晚(6 月份之后)播种,马铃薯提前进入块茎膨大后期,地上部生长结束,而其余播期中植株仍可利用有效的温水资源使地上干物重略有增加。

2.3 播期对马铃薯块茎形成的影响

如图 5 所示,不同播期马铃薯薯块鲜重表现出“慢—快—慢”的增长速率,生长曲线可用 Logistic 方

程拟合,拟合方程及相关系数见表 3。

块茎形成初期,中播(M)和晚播(L)马铃薯处于干旱环境中,茎叶生长缓慢,同化物积累受阻,地下块茎生长差,块茎形成中后期,超早播(SE)和早播(E)也因缺水导致薯块营养供应不足,增长速率减缓。分析发现,马铃薯薯块鲜重与块茎膨大后期降水量和块茎膨大期气温日较差相关性分别达到0.78 和 0.80,均达显著水平,即马铃薯块茎膨大初期不需要过多的水分,否则易造成徒长,影响体内养分分配;块茎膨大后期需水量则迅速增大。

不同播期马铃薯块茎形成差异显著表明,播期可以通过改变马铃薯不同生育阶段内温水条件影响地上部同化物积累,从而间接影响地下块茎生长,当马铃薯块茎膨大期气温日较差 ≥ 12℃,日均温 17℃ ~ 18℃,膨大后期降水量 50 ~ 70 mm 时,薯块增长速率较快。

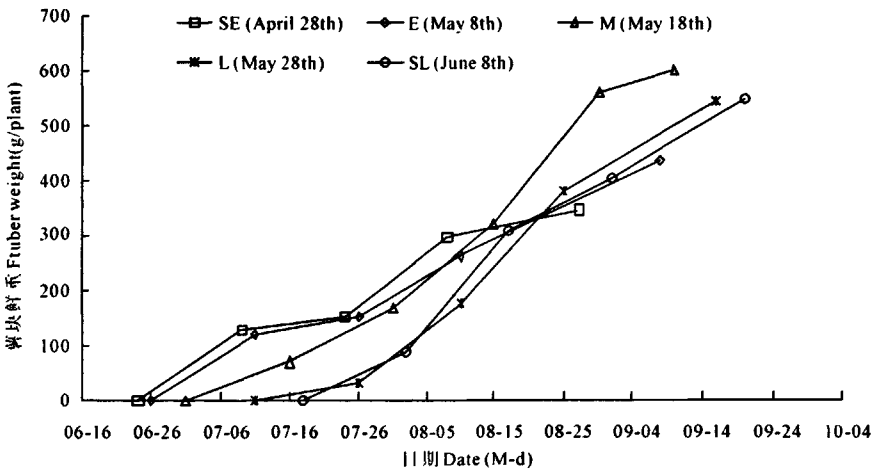


图 5 不同播期马铃薯块茎鲜重变化

Fig.5 The comparison of potato tuber weight under different sowing dates

表 3 不同播期处理马铃薯薯块鲜重变化曲线回归方程
Table 3 Regression equation of potato tuber weight under different sowing dates

播期 Sowing date	Logistic 拟合方程 Regression equation	相关系数 R ² Correlation coefficient
SE	$Y = 397.4150/[1 + \text{EXP}(3.4699 - 0.072890X)]$	0.95
E	$Y = 1044.2947/[1 + \text{EXP}(3.8715 - 0.047002X)]$	0.97
M	$Y = 659.4940/[1 + \text{EXP}(4.9755 - 0.084893X)]$	0.99
L	$Y = 616.1441/[1 + \text{EXP}(6.9596 - 0.099471X)]$	0.99
SL	$Y = 556.9274/[1 + \text{EXP}(4.3867 - 0.096591X)]$	0.98

2.4 播期对马铃薯产量及其构成的影响

由表 4 可见,随着播期推迟,不同播期间马铃薯总产量、大薯产量、中小薯产量、单位面积内总个数、

大薯个数、中小薯个数和大薯率出现显著差异。

1)产量:马铃薯总产量随播期推迟增加,早播(E)比超早播(SE)增产 22%,中播(M)之后处理间产量增加不显著,超晚播(SL)产量最高,为 22 833 kg/hm²,与超早播(SE)处理间差异达到极显著水平。大薯产量和中小薯产量也随播期推迟增加,分别在 5 月 8 日(E)和 5 月 18 日(M)之后的播种处理间未出现显著差异。

2)薯数:单位面积内薯块总数随播期推迟增加,仅超早播(SE)和超晚播(SL)间差异达显著水平。五个播期间大薯个数均无显著差异,中小薯个数随播期推迟增加,超晚播(SL)处理单位面积内中小薯个数达到 88 333 个/hm²,与超早播(SE)和早播(E)

处理间差异达显著水平。

3)大薯率:随播期推迟,马铃薯大薯率下降,超早播(SE)大薯率最高,达到 61%,超晚播(SL)大薯率最低,仅为 49%。

通过对比分析不同播期间马铃薯形态和产量差异,发现单位面积内马铃薯产量与生育期内最大株高和最大叶面积指数相关性分别为 0.71 和 0.90,达到显著和极显著水平。

研究结果表明:过早播种,气温较低,水分不足,马铃薯地上部生长受阻,地下匍匐茎顶端膨大形成的薯数不多,单产不高;推迟播种,马铃薯地上部积累的光同化产物可以满足地下块茎生长需求,薯数增加,虽然大薯率有下降趋势,但中小薯产量增加明显,总产量较高。

表 4 不同播期马铃薯产量及产量构成

Table 4 Yield and the formation of potato under different sowing dates

播期 Sowing date	产量 Yield (kg/hm ²)	大薯产量 Yield of bigger potatoes (kg/hm ²)	中小薯产量 Yield of mid- little potatoes (kg/hm ²)	总个数 Total number (个/hm ²)	大薯个数 Number of bigger potatoes (个/hm ²)	中小薯个数 Number of mid- little potatoes (个/hm ²)	大薯率 Ratio of bigger in all (%)
SE	13694cB	11083bB	2611cB	118333b	71667a	46667b	61a
E	16667bcAB	13444abAB	3222bcAB	136111ab	82778a	53333b	61a
M	20889abA	15778aAB	5111aA	173889ab	96667a	77222ab	56ab
L	21056abA	16556aAB	4500abAB	173889ab	93889a	80000ab	54ab
SL	22833aA	17167aA	5667aA	175000a	86667a	88333a	49b

注:大于等于 200 g 为大薯,反之为中小薯;大薯率 = 大薯个数/(大薯个数 + 中小薯个数) × 100%;同列不同大、小写字母间差异达到极显著($P < 0.01$)和显著($P < 0.05$)水平。

Notes: More than or equal to 200 grams is marked as bigger potato, the others are viewed as mid-little potato; ratio of bigger potato = number of bigger potatoes / (number of bigger potatoes + number of mid-little potatoes) × 100%; different uppercase letters and lowercase letters in the same column mean significant difference at 0.01 and 0.05 level.

2.5 播期对马铃薯水分利用效率的影响

2010 年试验中,4 月 28 日至 5 月 8 日间降雨不足,加上土壤蒸发引起土壤失墒严重,早播(E)前土壤水分含量仅为 119.9 mm。随着气温和土壤温度逐渐升高,深层土壤开始消融,土壤中液态水增加,同时 5 月 8 日至 5 月 18 日累计降水 15.1 mm,使中播(M)前土壤含水量相对较高,为 187.8 mm。

据前人研究^[21],武川县马铃薯生长期需水量为 420 mm。由表 5 可知,早播(E)播前底墒不好,生育期降水量仅 296.7 mm,整个生育期耗水量最少为 257.0 mm,其次为超晚播(SL),中播(M)和晚播(L)生育期耗水量差异不大,平均为 272.4 mm。马铃薯的水分利用效率随着播期推迟增加,中播(M)和晚

播(L)处理间无显著差异,超早播(SE)马铃薯水分利用效率最低,仅 45.2 kg/(hm²·mm),远低于赵沛义^[16]的 5 月 1 日播期研究结果[77.6 kg/(hm²·mm)],原因在于 2002 年下半年及 2003 年 5 月份降水较往年多。超晚播(SL)马铃薯水分利用效率最高,为 86.3 kg/(hm²·mm),与赵沛义^[16]5 月 21 日播期研究结果[84.9 kg/(hm²·mm)]接近。

根据本试验中五个播期研究结果,建议在年型和品种一致的情况下,当地马铃薯适宜播期由 5 月上中旬推迟到 5 月中下旬,可避免生育前期水肥消耗过多的弊端,提高自然降水生产效率,实现高产高效。

表 5 不同播期马铃薯水分利用效率比较

Table 5 The comparison of WUE under different sowing dates of potato

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)] WUE
SE	154.2	153.5	302.3	303.1	13694	45.2
E	119.9	159.7	296.7	257.0	16667	64.9
M	187.8	264.6	348.9	272.1	20889	76.8
L	149.6	212.2	335.4	272.8	21056	77.2
SL	145.2	172.9	292.4	264.7	22833	86.3

3 结论和讨论

1) 研究表明,播期处理对马铃薯总生育期及不同生育阶段持续日数影响显著。随播期推迟,马铃薯生育期缩短,与蒲金涌研究结果不一致^[22],可能与品种选取及播期设置有关。播种至出苗阶段持续日数随播期推迟缩短,温度升高和降水增加是主要原因。超早播和早播生育期叶面积指数显著低于随后播期。播种过早,马铃薯生长前期气温偏低,苗期水分不足,不利于薯块萌芽,地上茎叶生长的关键时期处于干旱少雨的7月上中旬,影响茎秆伸长和叶面积扩展。若推迟播期,气温升高,雨水充分,马铃薯出苗速率加快,生育中后期雨水充足,植株长势好,干物质积累快。

2) 不同播期马铃薯薯块鲜重增长符合 Logistic 生长曲线,块茎形成初期所需营养物质主要来源于母薯,但外部环境对其影响也较大。块茎形成中后期,地上部叶片光合同化产物是块茎积累所需营养物质的主要来源,此时雨水亏缺直接影响地下块茎的扩大和充实。块茎膨大期,马铃薯需要凉爽气候,否则地上茎间距伸长,叶片变小,影响对光能的吸收利用,块茎产量降低。分析表明,马铃薯薯块形成主要依赖于地上部叶片光合同化产物供应状况,地上部叶片的适度规模是产量形成的基础。

3) 马铃薯产量随播期推迟增加,但是中播、晚播和超晚播处理间差异不显著,与超早播和早播处理间差异达显著水平,大薯率随播期推迟降低。过早播种,气温过低和水分不足限制了主茎伸长和茎叶扩展,影响根系吸收养分,地下匍匐茎顶端膨大分化成薯块的比率不高;推迟播种,适宜水热条件使植株分枝数增多,植株生长强壮,对结薯有利,但随播期推迟,马铃薯地上部光合作用积累的同化产物不足以使所有分化形成的薯块发展成中薯,中小薯比例增大,单产增加趋势不明显,与文云书研究结果有所差别^[23]。

4) 农牧交错带地区马铃薯产量受生育期间降雨量及其分布制约,生育中后期的降雨是决定产量的重要因素,该试验中马铃薯水分利用效率随播期推迟增加,从光热水资源及80%气候保证率分析,7月下旬将会出现明显的降水过程,应将马铃薯需水量较大的块茎膨大中后期安排在此阶段,以便有效利用降水资源,提高产量,因此建议在农牧交错带地区马铃薯品种一致的情况下,将其适宜播期安排在5月中下旬,但若采用生育期较长的品种,在保证产量的前提下,可考虑将其播种期安排到5月中旬前

后。

5) 此研究试验仅反映了有限年型下播种期对马铃薯生长发育、产量形成和水分利用效率的影响,进一步研究应与作物生长模型相结合,分析不同年型条件下不同品种马铃薯的最佳播期。

致谢:感谢中国农业大学资源与环境学院程路、于洋、李超、田艳芳、董婉麟、熊志丹等同学在试验过程中给予帮助。

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] 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.
- [4] 邵庆炉,薛香,梁云娟,等.暖冬气候条件下调整小麦播种期的研究[J].麦类作物学报,2002,22(2):46-50.
- [5] 李筠,王龙,任立凯,等.播期、密度和氮肥运筹对冬小麦连麦2号产量与品质的调控[J].麦类作物学报,2010,30(2):303-308.
- [6] 刘万代,陈现勇,尹钧,等.播期和密度对冬小麦豫麦49-198群体性状和产量的影响[J].麦类作物学报,2009,29(3):464-469.
- [7] 武艳芍,郝建平.播期对玉米(强盛49)出苗速度及生育期的影响[J].中国农学通报,2009,25(04):119-121.
- [8] 郑威,杨恒山,张瑞富,等.播期对甜玉米生长及产量的影响[J].作物杂志,2006,(1):21-23.
- [9] 董丽杰,王文斌,吴纪安,等.不同播期对黑河38大豆生长动态及产量的影响[J].大豆科学,2008,27(3):461-464.
- [10] 陈立君.播期对大豆冬农42产质量性状动态变化规律研究[J].中国农学通报,2009,25(3):122-127.
- [11] Timmermans B G H, Vos J, Van Nieuwburg J, et al. Field performance of *Solanum sisymbriifolium*, a trap crop for potato cyst nematodes. I. Dry matter accumulation in relation to sowing time, location, season and plant density[J]. Annals of Applied Biology, 2007, 150(1):89-97.
- [12] Allen E J. Effects of date of planting on growth and yield of contrasting potato varieties in Pembrokeshire[J]. The Journal of Agricultural Science, 1977,89(3):711-735.
- [13] Barry P, Storey T S, Hogan R. Effect of plant population and set size on the seed yield of the maincrop potato variety cara[J]. Irish Journal of Agricultural Research, 1990,29(1):49-60.
- [14] 姚玉璧,张秀云,王润元,等.西北温凉半湿润区气候变化对马铃薯生长发育的影响——以甘肃岷县为例[J].生态学报,2010,30(1):101-108.
- [15] 高炳德.马铃薯产量形成及限制因素分析[J].马铃薯,1985,(1):6-12.
- [16] 赵沛义,妥德宝,段玉,等.内蒙古后山旱农区马铃薯适宜播种密度和播期研究[J].华北农学报,2005,20(专辑):10-14.

- [17] 王春珍,李荫藩.降水量对旱地马铃薯产量的影响[J].马铃薯杂志,1990,4(3):155-157.
- [18] 阮俊,彭国照,罗清,等.不同海拔和播期对川西南马铃薯品质的影响[J].安徽农业科学,2009,37(5):1950-1951,1953.
- [19] 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.
- [20] 杨海鹰,李文岗,智瑞年,等.内蒙古后山半干旱区马铃薯丰产高效综合农艺措施数学模型研究[J].干旱地区农业研究,1994,12(1):61-67.
- [21] 钟兆站,赵聚宝,郁小川,等.中国北方主要旱地作物需水量的计算与分析[J].中国农业气象,2000,21(2):1-4.
- [22] 蒲金涌,许彦平,姚晓红,等.天水市不同播种期马铃薯生物量累积特征及其与气候因子的关系[J].安徽农业科学,2010,38(15):8074-8076.
- [23] 文云书,刘辉,陈光玉,等.播期对脱毒马铃薯费乌瑞它产量的影响[J].贵州农业科学,2008,36(6):57-58.

Effect of sowing date on the growth and yield formation and water use efficiency of potato in Agro-pastoral Ecotone

SHEN Jiao-jiao^{1,2}, WANG Jing^{1,3}, PAN Xue-biao^{1,3}, FENG Li-ping¹, ZHAO Pei-yi³, CHEN Chen^{1,3}

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Shaanxi Meteorological Service Center, Xi'an, Shaanxi 710014, China; 3. Key Ecology and Environment

Experimental Station for Field Scientific Observation in Huhhot, Ministry of Agriculture, Huhhot, Inner Mongolia 011705, China)

Abstract: In order to study the effects of different sowing dates on the growth, development, yield formation and water use efficiency (WUE) of potato and provide a scientific basis for optimal sowing date and high yield of potato in Agro-pastoral Ecotone, phenology, morphological index, yield formation and WUE of potato under five sowing-date treatments of SE(April 28), E(May 8), M(May 18), L(May 28) and SL(June 8) were 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 different sowing dates. The growing period of potato was shortened at a rate of 6 days averagely with the sowing date postponed by 10 days, whilst the ratio of the reproductive stage in growing period was increased, which reached 45% and 59% respectively under SE and SL treatments. Aboveground dry matter accumulation under SE and E treatments were significantly lower than that of other sowing dates. In the whole period, the fresh tuber weight increased as the Logistic growth curve. Total yield and yield of big potato as well as the number of big potatoes in all were significantly different. The difference of yield between M, L and SL treatments was not significant and their averaged yield reached 21 593 kg/hm², while there were also no significant difference in yield between SE and E treatments, reached 15 181 kg/hm² averagely. WUE increased as the sowing date delayed. The highest value and the lowest value of WUE occurred under SE and SL treatments, which were 45.2 kg/(hm²·mm) and 86.3 kg/(hm²·mm) respectively. The appropriate sowing date of potato in Agro-pastoral Ecotone was recommended to be arranged in middle-late May.

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