

播期对农牧交错带豌豆生长发育、产量形成和水分利用效率的影响

沈姣姣¹ 王靖^{2*} 潘学标² 李建科¹ 徐虹¹

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

摘要 为探讨不同播期对农牧交错带豌豆生长发育、产量形成和水分利用效率的影响, 采用随机区组试验设计, 分析了内蒙古武川地区豌豆在 2010 年 4 月 28 日、5 月 8 日、5 月 18 日、5 月 28 日和 6 月 8 日 5 个播期下生育期、形态指标、产量形成和水分利用效率的变化情况。结果表明: 1) 6 月份之前播种, 播期对豌豆全生育期日数无明显影响(120~122 d); 但随播期推迟, 营养生长期延长, 生殖生长期缩短, 生殖生长期在整个生育期中所占比例减小, 4 月 28 日播期最高为 40%, 6 月 8 日播期最低为 22%; 2) 随播期推迟, 豌豆株高和叶面积增长迅速, 营养生长期前期水热充沛可缓解后期水热资源不足, 地上部干物质在 8 月中旬后迅速积累, 5 月 18 日及其后播种的豌豆茎、叶所占比例分别达到 51% 和 45%; 3) 随播期推迟(6 月份之前), 豌豆植株含水率、产量和水分利用效率提高, 4 月 28 日和 5 月 28 日播种的豌豆植株含水率、鲜草产量和干草产量分别为 61.7%, 1 280 和 490 kg/hm² 及 77.0%, 2 700 和 760 kg/hm²。但播期推迟到 6 月 8 日, 豌豆鲜草和干草产量比 5 月 28 日播种的分别下降 200 和 190 kg/hm², 干草水分利用效率下降为 2.69 kg/(hm²·mm)。建议农牧交错带豌豆适宜播期安排在 5 月下旬, 产量和植株含水量可得到双效提升, 以充分发挥其绿肥作物的优良特性。

关键词 豌豆; 播期; 产量构成; 水分利用效率

中图分类号 S 551+.2

文章编号 1007-4333(2013)03-0055-06

文献标志码 A

Effects of the sowing date on the growth and development, yield formation and water use efficiency of pea in Agro-pastoral Ecotone

SHEN Jiao-jiao¹, WANG Jing^{2*}, PAN Xue-biao², LI Jian-ke¹, XU Hong¹

(1. Shaanxi Meteorological Service Center, Xi'an 710014, China;

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

Abstract In order to study the effects of different sowing dates on the growth and development, yield formation and water use efficiency (WUE) of pea, the changes of phenology, morphological index, yield formation and WUE of pea under five sowing-date treatments which were April 28(SE), May 8(E), May 18(M), May 28(L) and June 8(SL) were compared using randomized block design based on field experiments in Wuchuan county of Inner Mongolia in 2010. The results showed from the following three aspects. 1) The sowing date before June had no significant impact on the length of growing season (120 - 122 d), but vegetative growing period was prolonged and reproductive growing period was shortened when the sowing date was postponed. Ratio of the reproductive growing period to the whole growing period was reduced, with 40% as the maximum under SE and 22% as the minimum under SL. 2) As the sowing date was postponed, plant height and leaf area grew rapidly, sufficient water and heat resources during earlier vegetative growing period could alleviate the insufficient water and heat resources occurring at the later growing period. Aboveground dry matter accumulated rapidly after mid-August, the ratio of stem and leaf to the whole plant increased to 51% and 45% respectively under M, L and SL. 3) As the sowing date was postponed, plant water content, yield (fresh and dry) and

收稿日期: 2012-10-29

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

第一作者: 沈姣姣, 助理工程师, 硕士, 主要从事公共气象服务研究, E-mail: 053431211@163.com

通讯作者: 王靖, 副教授, 博士生导师, 主要从事气候变化影响与适应研究, E-mail: wangj@cau.edu.cn

water use efficiency were increased. The plant water content, fresh yield and dry yield under SE and L were 61.7%, 1 280,490 kg/(hm²), and 77.0%, 2 700,760 kg/hm² respectively. When the sowing date was postponed to June 8, fresh and dry grass yield reduced by 200 and 190 kg/hm² respectively compared to that on May 28, WUE of dry grass reduced to 2.69 kg/(hm² · mm). As green manure crop, the appropriate sowing date of pea in Agro-pastoral Ecotone was recommended to be arranged in late-May, thus both of the yield and water content could be increased.

Key words pea; sowing date; yield formation; WUE

北方农牧交错带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,年际间降水变率大,是对气候变化响应最为敏感的区域之一^[1-2],气候波动和变化对农牧交错带农牧业生产的影响受到广泛关注。豌豆抗旱耐瘠,适应性强,粮菜饲兼用^[3-4],又可与粮食作物间、套、混种。分期播种试验可以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^[5-9],关于不同播种期对豌豆生长发育的研究也有涉及^[10-17]。有研究认为,豌豆产量与绿色叶片持续时间尤其是花后叶面积指数显著相关,随着播期推迟,温度升高,豌豆生育期缩短,产量降低^[10-11]。Michael等对英格兰西部饲用豌豆播期研究发现,3月底—4月初播种的豌豆均能在播种后100~120 d获得稳定高产^[12]。但也有研究表明,不同时间播种的豌豆基本能同时成熟,早播前期温度低,不利于豌豆出苗和茎秆节数形成,但是气温上升后即可恢复正常,鲜草产量和千粒重均较高,但若播种过早,落花现象严重^[13-14];播期过晚,豌豆生育期缩短,营养生长不充分,根系差,植株不能正常开花结荚,产量和千粒重降低^[15-17]。目前有关播期研究多集中于小麦、水稻和玉米等大宗粮食作物^[7-9],作为优良饲草,青草产量是衡量豌豆经济价值的主要因素之一,但目前有关豌豆产量的研究多针对其种子而言^[11-13,15-20],鲜有研究详细分析其茎叶部分对水分的利用情况。本试验以豌豆为研究对象,探索改变播期对豌豆生育期、形态指标、鲜(干)草产量形成和水分利用效率的影响,旨在为农牧交错带豌豆适期播种和高产栽培提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验站点概述

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1756 m)进行,试验站地处内蒙古武川县,气候属于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,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,年总辐射6 100 MJ/m²,年平均风速3 m/s,土壤以栗钙土为主。

1.2 试验设计

试验采用分期播种方法,共设置5个播期作为处理(4月28日、5月8日、5月18日、5月28日和6月8日),分别用SE、E、M、L和SL表示。随机区组排列,3次重复。小区面积24 m²(4 m×6 m),南北行向。供试豌豆为当地主要栽培种“清水河麻豌豆”,采用条播方式,行距25 cm。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,为保证试验区内豌豆能正常出苗及安全完成整个生育期进程,分别于6月1日(补水量为13.1 mm)、6月28日(补水量为38.2 mm)和7月26日(补水量为42.4 mm)进行人工补水。

1.3 测定项目与方法

采用平行观测的方法,记录豌豆各关键生育期(出苗、开花、鼓粒和成熟),每隔15 d取一次样,每小区连续取样10株,测定株高、鲜草重,叶面积用便携式叶面积仪(LI-3000C)测定。分别将豌豆植株根、茎、叶、荚等各部分装袋,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1 m²,测定荚重、鲜草重、干草重,折算成hm²产量。

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

试验数据用Excel 2003和DPS v7.05进行处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 播期对豌豆发育期的影响

由表1可见,SE、E和M播期下豌豆生育期时间差异不显著,均为120~122 d左右,但SL全生育

期仅 109 d。随播期推迟,豌豆出苗至开花阶段降水增多,花芽分化受阻,营养生长期延长,SE 处理下出苗至开花需要 51 d,而 L 和 SL 各需要 62 d。在营养生长期延长的同时,生殖生长期在整个生育期中

所占比例随播期推迟出现不同程度的减少,SE 最高达到 40%,而 SL 最低仅占 22%,播种期每推迟 10 d,豌豆开花至成熟时间缩短 1~2 d,但 SL 生育后期遭遇霜冻,开花后 24 d 即收获。

表 1 不同播期下豌豆关键生育期间隔时间

Table 1 Intervals of the main growth stages of pea under different sowing dates

d

生育阶段 Growth stages	播期(月-日) Sowing date				
	04-28 (SE)	05-08 (E)	05-18 (M)	05-28 (L)	06-08 (SL)
播种-出苗 Sowing-Emergence	22	19	19	16	24
出苗-开花 Emergence-Flowering	51	56	57	62	62
开花-成熟 Flowering-Maturity	48	47	45	42	24
总生育期 Length of growing period	121	122	121	120	109
营养生长(播种-开花) Vegetative growth period (Sowing-flowering)	73	75	76	78	85
生殖生长(开花-成熟) Reproductive growth period (Flowering-maturity)	48	47	45	42	24
生殖生长期占整个生育期比例/% Ratio of reproductive growing period in the whole growing period	40	39	37	35	22

2.2 播期对豌豆形态指标的影响

2.2.1 播期对豌豆株高的影响

从图 1 看出,豌豆苗期生长缓慢,开花后节间伸长加快,随播期推迟株高显著增加。播种至苗后 15 d, SE、E、M 和 L 处理下平均降雨量仅 26.0 mm,株高差异不大,平均为 8 cm,而 SL 同时段内降雨量达到 56.5 mm,株高达 13 cm。SE 整个生育期内株高增加平缓,日平均增长速率 0.53 cm/d,收获时仅 55 cm。M 和 L 株高呈现“慢-快-慢”的增长趋势,SL 株高增长速率显著高于其余处理(1.5 cm/d),收获时株高达到 118 cm。7 月下旬,SE 和 E 开始鼓粒,

株高趋于稳定(分别为 40 和 34 cm),但由于 8 月份降水较多(93 mm),株高出现二次伸长,收获时分别达到 55 和 117 cm。

2.2.2 播期对豌豆叶面积的影响

从图 2 可以看出,豌豆叶面积随播期推迟增加明显。分析表明,豌豆最大叶面积与播种至出苗阶段气温和出苗至开花阶段降水量相关系数分别达到 0.97 和 0.80,SE 播种至出苗阶段日平均气温仅 9.6 ℃,出苗至开花期间降水不足(73.1 mm,含人工补水),水热资源匮乏使叶片发育受阻。但由于 8 月份降水充分(93 mm),SE 和 E 叶片生长期延长,

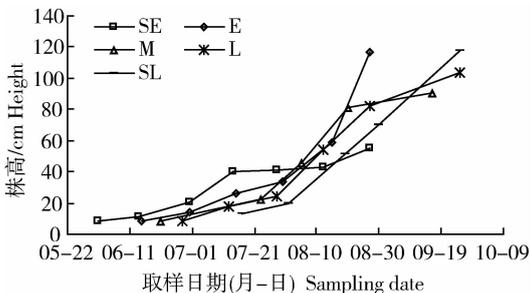


图 1 不同播期豌豆株高变化

Fig. 1 Changes of pea plant height under different sowing dates

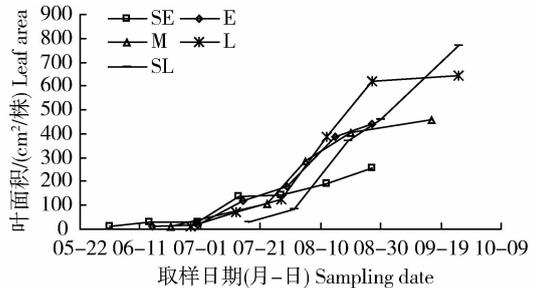


图 2 不同播期豌豆叶面积变化

Fig. 2 Changes of pea leaf area under different sowing dates

收获时叶面积分别达到 257.35 和 442.94 cm²/株。随播期推迟,SL 播种至出苗期间平均气温达到 20.3 ℃,降水量为 45.9 mm,尽管出苗至开花阶段气温已开始降低(19.9 ℃),降水量(161.3 mm)也不如 L 的高(202.5 mm),但收获时叶面积(768.54 cm²/株)比 L(645.23 cm²/株)增加 123.31 cm²/株。显然,豌豆营养生长前期水热资源充分可弥补后期气温降低和水分不足,加上 SL 营养生长日数较长(比 L 延长 7 d),所以叶面积较高。

2.2.3 播期对豌豆地上部干物质积累及在器官间分配的影响

从图 3(a)可以看出,5 个播期地上部积累的干物质在 8 月上旬前无显著差异(平均为 2.29 g/株),8 月中旬后地上部干物质迅速增加。SE 和 E 豌豆在 9 月上旬成熟,而 M 处理之后的豌豆(包括 M、L

和 SL)正由营养生长向生殖生长过渡,干物质积累速率仍较高(0.13~0.15 g/(株·d)),收获时,SE 和 E 的地上部干物重仅 4.69 和 5.23 g/株,而 M、L 和 SL 分别达到 8.34、8.79 和 7.12 g/株。

播期推迟对豌豆地上部同化产物在器官间分配影响较明显(图 3(b)),收获时各器官比例大小依次为:茎(30~60%)>叶(20~50%)>根(2~6%),茎、叶所占比例随播期推迟增加,M、L 和 SL 处理的茎、叶所占比例基本保持在 51%和 45%左右。7 月下旬至 8 月上旬,SE 和 E 的生长重心由茎叶转移到豆荚,收获时豆荚部分在整个植株中所占比例分别达到 23.4%和 10.1%。播期推迟到 5 月中旬后,豌豆鼓粒期多推迟至 8 月下旬后,日平均气温降至 15℃以下,降水量不足 50 mm,不利于籽粒灌浆,地上部分主要由茎秆和绿色叶片组成(占 94%~97%)。

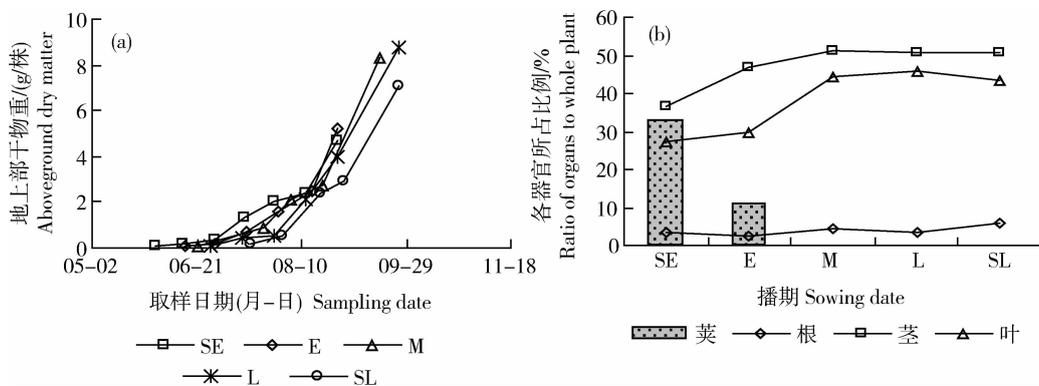


图 3 不同播期豌豆地上部干物重(a)和各器官所占比例(b)

Fig. 3 The weight of aboveground dry matter (a) and the ratio of organs to the whole plant (b) of pea under different sowing dates

2.3 播期对豌豆产量和含水量的影响

6 月份之前播种,豌豆鲜草和干草产量均随播

期推迟增加(表 2),但 M 和 L 间无显著差异,若将播期推迟到 6 月份,SL 的鲜草和干草产量分别比 L

表 2 不同播期豌豆产量、含水量和水分利用效率

Table 2 Yield, water content and WUE of pea under different sowing dates

播期 Sowing date	播前含水量/ mm	收获时 含水量/mm	降水量 (含补水)/mm	耗水量/mm	产量/ (10 ³ kg/hm ²)		水分利用效率/ (kg/(m ² ·mm))		
	Soil water content before sowing	Soil water content when harvesting	Precipitation (including watering)	Water consumption	鲜草 Fresh	干草 Dry	含水率/% Water content	鲜草 Fresh	干草 Dry
SE	154.2	136.1	236.1	254.2	1.28 cC	0.49 cC	61.7 cC	5.05 bB	1.94 cB
E	119.9	152.5	233.1	200.5	2.03 bB	0.67 abAB	66.3 bcBC	10.14 aA	3.34 aA
M	187.8	197.6	239.5	229.7	2.67 aA	0.74 aA	72.3 abAB	11.61 aA	3.21 aA
L	179.6	206.8	270.2	243.0	2.70 aA	0.76 aA	72.0 abAB	11.11 aA	3.14 abA
SL	145.2	189.0	257.2	213.4	2.50 aAB	0.57 bcBC	77.0 aA	11.72 aA	2.69 bA

注: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: different uppercase letters and lowercase letters in the same column mean significant difference at 0.01 and 0.05 level.

下降 200 kg/(hm²·d)(产量间差异不显著)和 190 kg/(hm²·d)(产量间差异达极显著水平)。相关分析表明,豌豆产量(鲜草或干草)均与出苗至开花阶段气象因子的相关性较好,鲜草产量与≥7℃积温和降水量相关系数分别达到 0.98 和 0.83,干草产量与日平均气温和降水量相关系数分别达到 0.85 和 0.56。

豌豆植株含水量随播期推迟增加,播期间变幅为 61.7%~77.0%(表 2),在生育期总降水量无明显差异的情况下,M 播期至开花阶段降水量(159.7 mm)明显高于 SE(83.7 mm)和 E(87.9 mm),这可能是导致 M 植株含水量(72.3%)较高的主要原因。相关分析表明,植株含水量与播种至开花阶段降水量相关系数达到 0.87,气温升高对提高植株含水量也表现出正效应(相关系数为 0.98)。

5 月下旬是农牧交错带豌豆播种的分水岭,即 5 月 28 日之前播种,每推迟 1 d,增产效果平均为 47.3(鲜草)和 9.0 kg/(hm²·d)(干草);5 月 28 日之后播种,每推迟 1 d,平均减产 20.0(鲜草)和 19.0 kg/(hm²·d)(干草)。农业栽培中,豌豆播种期应安排在 5 月下旬,即可保证产量又可增加植株含水量,可充分发挥其作为绿肥作物的优良特性。

2.4 播期对豌豆水分利用效率的影响

试验站 2010 年 4 月 28 日—5 月 8 日期间降雨不足,加上早春时节土壤蒸发剧烈,4 月 28 日播种时土壤水分含量仅 119.9 mm。随着温度升高,土壤消融,加上 5 月 8 日—5 月 18 日期间出现 15.1 mm 降水,5 月 18 日播种时土壤含水量达到 187.8 mm。

从表 2 可以看出,SE 水分利用效率最低,仅为 5.05 kg/(hm²·mm)(鲜草),主要由于播种至出苗阶段仅出现 10.6 mm 降水,开花期 0~100 cm 土壤水分仅 9.7 cm,水分匮乏限制产量提高。E、M、L 和 SL 的水分利用效率无显著差异,平均为 11.15 kg/hm²(鲜草)。SE 干草水分利用效率在 5 个播期中仍最低,仅为 1.94 kg/(hm²·mm),其次为 SL, E、M 和 L 各处理间无显著差异,平均为 3.23 kg/(hm²·mm)。

3 讨论

豌豆生长发育受气候条件影响显著,播期调整影响整个生育期及各生育阶段内的气象条件,进而影响作物发育。6 月份之前播种,播期对豌豆生育期日数影响不大,播期每推迟 10 d,成熟期平均推迟

9.7 d,张继君等研究发现,不同时间播种的豌豆成熟期趋于一致^[17],与本研究结论不一致,可能与栽培品种、土壤水分状况和播种期有关。逢蕾等研究发现^[13-14],3 月下旬—4 月上旬播种的豌豆由于生育前期温度低,降水不足,出苗时间延长,与本研究结果相似。2010 年 5 月中旬前后播种的豌豆生物量明显较高,与王芳试验结果相同^[21],但是生育后期气温下降较快,迟播的豌豆因贪青而不能正常开花结荚,此结论与前人的研究结果一致^[17,22]。

与 2009 年 5 月 28 日播种的豌豆减产不同^[21],2010 年同一天播种的豌豆产量相对较高,主要原因在于 2010 年 8—9 月降水量比 2009 年同期偏多近 60 mm。5 月中旬后播种,播期每推迟 10 d,灌浆期气温下降 2.1~2.4℃,2010 年 5 月 28 日和 6 月 8 日播种的豌豆鼓粒至成熟阶段气温降至 12.1~14.5℃,低温影响豆荚中干物质积累和转运,但可满足茎叶生长需求,地上部生物量仍得到有效积累。生产实践中可在豌豆花后尽量延迟收获,最大程度上利用气候资源。

作为一种优良牧草,豌豆种植的重要价值体现在其鲜(干)草产量,而非豆荚部分。农牧交错带地区是典型的雨养农业区,降水量季节分配比年降水总量对豌豆产量影响更大。播种过早,豌豆生育期内降水不足且多集中于生育后期,有限的降水资源不能增加鲜(干)草产量。若播期安排在 5 月中下旬,豌豆出苗至开花阶段可出现 140~200 mm 降水,茎叶生长迅速,水分利用效率较高。但若将播期推迟到 6 月份,播前底墒差使豌豆出苗困难,花后气温下降对茎叶干物质积累不利,水分利用效率降低。

从光热水资源 80% 保证率分析,综合考虑农牧交错带豌豆生物特性、水分利用效率和产量因素,建议在品种和年型一致的情况下,将其适宜播种期安排在 5 月下旬,播前底墒好,生育期内水热资源分布合理,降水分配与生长发育同步,水分资源得到充分利用,可以实现高产高效。

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对农作物生产力影响的诊断分析[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(1): 104-107
- [3] 王树安. 作物栽培学各论[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 287-289

- [4] 刘忠民,山仑. 宁南旱地春豌豆水分生产潜力及开发对策[J]. 水土保持通报,1998,18(7):7-10,14
- [5] 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
- [6] 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
- [7] 杨健,张保军,毛建昌,等. 播期与密度对冬小麦西农 9871 籽粒产量的影响[J]. 麦类作物学报,2011,31(3):529-534
- [8] 陈新光,王华,邹永春,等. 气候变化背景下广东早稻播期的适应性调整[J]. 生态学报,2010,30(17):4748-4755
- [9] 李向岭,赵明,李从锋,等. 播期和密度对玉米干物质积累动态的影响及其模型的建立[J]. 作物学报,2010,36(12):2143-2153
- [10] 许莹. 豌豆生长发育特性的研究[J]. 西北农学院学报,1981(1):52-58
- [11] Husain M M, Hill G D, Gallagher J N. The response of field beans (*Vicia faba* L) to irrigation and sowing date. 2. Growth and development in relation to yield [J]. The Journal of Agricultural Science,1988,111(2):233-254
- [12] Michael J Potts,唐超世. 播种期、收获期和播种量对饲用豌豆产量的影响[J]. 草原与草坪,1983(1):22-23
- [13] 逢蕾,黄高宝. 黄土高原旱地豌豆早播增产机理研究[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(1):196-200
- [14] 龚学臣,杨立廷,马文奇. 豌豆不同栽培条件下产量构成因素相关及通径分析[J]. 国外农学:杂粮作物,1996(5):34-36
- [15] Siddique A B, Wright D. Effects of date of sowing on seed yield, seed germination and vigour of peas and flax [J]. Seed Science and Technology,2004,32(18):455-472
- [16] Milbourn G M, Hardwick R C. The growth of vining peas: I. The effect of time of sowing [J]. The Journal of Agricultural Science,1968,70(3):393-402
- [17] 张继君,曾宪琪,杜成章,等. 播期对重庆豌豆农艺性状及产量影响的研究[J]. 农业科技通讯,2010(11):26-30
- [18] 张恩和,黄高宝. 甘肃黄土高原农业可持续发展的限制因素与克服途径[J]. 水土保持学报,2002,16(5):9-13
- [19] 席玲玲,闫志利,牛俊义,等. 干旱胁迫对豌豆籽粒灌浆特征及产量的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2010,45(1):31-36
- [20] 李广,黄高宝. 基于 APSIM 模型的降水量分配对旱地小麦和豌豆产量影响的研究[J]. 中国生态农业学报,2010,18(2):342-347
- [21] 王芳. 气象条件对我国农牧交错带地区主要农作物生长发育和产量的影响[D]. 北京:中国农业大学,2010
- [22] Nath V. Patterns of plant growth during pre and post flowering phases in tow cultivars of filed pea [J]. India Journal of plant, 1983,26(1):8-14

责任编辑:苏燕