

干旱胁迫对芸豆籽粒干物质积累的影响及动态模型的建立

王景伟^{1,2}, 金喜军², 杜文言², 史振声¹, 张玉先²

(1. 沈阳农业大学, 辽宁 沈阳 110866; 2. 黑龙江八一农垦大学, 黑龙江 大庆 163319)

摘要: 为研究干旱胁迫对芸豆籽粒干物质积累的影响, 并建立动态方程, 以奶花芸豆 2242 为材料, 设计了一个三因素盆栽实验, 进行不同生育时期、不同程度、不同时间的干旱胁迫。结果表明: 不同干旱胁迫处理, 籽粒干物质积累均受到一定程度的影响。不同时期, 苗期最终表现为等量补偿效应, 始花期和结荚期表现为部分补偿效应, 说明在苗期可适当进行干旱胁迫, 而在始花期和结荚期进行干旱胁迫则会影响干物质积累量。不同强度, 籽粒干物质积累规律为正常供水 > 中度干旱 > 重度干旱。不同时间, 胁迫 5 d > 胁迫 10 d。籽粒干物质动态变化均为“S”型曲线, 可用 Logistic 模型描述, 并用特征参数描述积累过程特征, 且拟合效果较好, 决定系数均达 0.98 以上。

关键词: 干旱胁迫; 芸豆; 干物质积累; Logistic 模型

中图分类号: S332.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)02-0147-04

Effect of drought stress on seed dry matter accumulation of kidney bean and the construction of dynamic model

WANG Jing-wei^{1,2}, JIN Xi-jun², DU Wen-yan², SHI Zhen-sheng¹, ZHANG Yu-xian²

(1. Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866, China;

2. Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

Abstract: In order to study the effect of drought stress on seed dry matter accumulation of kidney bean and establish the dynamic equation, we selected 2242 speckled kidney bean cultivars and performed a pot experiment with three drought treatments including growth stages, drought severity and duration. The results showed significant influence of drought stress on seed dry matter accumulation. For the drought treatment, reduction in yield followed the order of CK > moderate drought > severe drought. Grain dry accumulation followed “S” curve and can be described by the Logistic model, with the coefficient of determination being above 0.98.

Keywords: Drought stress; kidney bean; dry matter accumulation; logistic model

干旱胁迫是影响作物产量较普遍的逆境因子, 所造成的产量损失超过其他胁迫的总和^[1]。王程等研究表明, 大豆产量主要取决于干物质积累量及其在籽粒中的分配量, 鼓粒期籽粒生长发育以及干物质积累过程直接影响大豆的产量^[2]。张卫星等通过水分仪结合称重法进行干旱胁迫的盆栽试验, 研究不同阶段干旱胁迫对超级稻不同品种干物质积累的影响, 发现从穗分化至灌浆结实期中度干旱胁迫导致生物产量和各器官干物质积累明显降低, 品种间差异显著^[3]。孟凡超等在不同生育时期对玉米进行干旱胁迫, 导致玉米产量下降, 干物质向茎秆、叶片

的分配增加, 从而导致籽粒产量下降^[4]。华劲松等在小黑芸豆开花、结荚期进行水分胁迫, 随水分胁迫强度增加, 叶片相对含水量、叶比重、叶绿素含量和光合速率均下降, 植株生长受到抑制, 开花数、结荚数和单荚粒数均显著降低, 最终产量大幅下降^[5]。

近年来, 许多学者对作物干物质积累、分配及运转开展了广泛的研究^[6-7], 并引入数学模型进行动态模拟, 应用较多的模型有三次多项式拟合干物质积累动态^[8-9]、Richards 和 VP 方程拟合^[10]以及用 Logistic 模型描述干物质积累过程^[11-13]。各种模型各有优缺点。

收稿日期: 2013-07-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(204134008); 农业部公益性行业(农业)科研专项(201303007); 黑龙江八一农垦大学“大学生创新创业训练计划”项目

作者简介: 王景伟(1973—), 男, 辽宁康平人, 硕士研究生, 主要从事作物生理生态方面的研究。E-mail: wangjingwei0203@126.com。

本文以粒用芸豆为对象,研究干旱胁迫对芸豆干物质积累的影响,建立干物质积累的 Logistic 模型,并通过特征参数定量分析芸豆干物质积累过程的特点,为芸豆抗旱栽培生理和育种提供理论依据和实践参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计方法

供试品种为奶花芸豆 2242,是黑龙江省农业科学院选育的优良品种。

供试土壤为草甸土,碱解氮 $187.00\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、有效磷 $54.18\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $316.00\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、有机质 4.08% 、pH 值 7.80 。试验用土均过筛混匀装盆(自然风干)。

试验为盆栽法,于 2012 年 5 月至 8 月在黑龙江八一农垦大学试验场防雨棚中进行,盆高 28 cm ,上下内径分别为 31.5 cm 和 22.5 cm ,每盆装土 13 kg 。5 月 29 日播种,每盆等距离三角播种 3 穴,播深 3 cm 。苗高平均达到 6 cm 时定苗,每盆留 3 株。定苗后分别在苗期、始花期和结荚期进行干旱胁迫。

在不同发育时期,均进行 5 d、10 d 轻度和重度胁迫后复水至对照水平;不同发育时期选择为:苗期(6 月 11 日)、始花期(6 月 27 日)和结荚期(7 月 6 日);轻度、重度水分胁迫分别为田间最大持水量的 $55\% \sim 60\%$ 和 $40\% \sim 45\%$ [2]。始花期一次选定同一天开花、植株高度整齐一致、无病虫害损伤的植株挂标签,至成熟进行随机取样测定。

1.2 测试指标及方法

从 7 月 11 日起取样,每隔 5 d 取样 1 次,每次各处理取荚 20 个,将籽粒置于烘箱 105°C 杀青 30 min ,在 80°C 下烘干至恒重 [14],用 $1/1000$ 的分析天平称重。

用模型 $y = a/(1 + e^{(b - cx)})$ 建立干物质积累的

Logistic 方程, y 为百粒重, x 为开花后天数。对方程求一阶导数可得到干物质积累速率方程 $y' = ace^{(b - cx)}/(1 + e^{(b - cx)})^2$,求二阶导数并令其为零,得积累最大速率 $y' = ac/4$,对应的 x 值为 b/c 。对方程求三阶导数并令其为零,得到干物质积累速率曲线上的 2 个点,分别用 x_1 、 x_2 表示, $x_1 = (b - 1.317)/c$, $x_2 = (b + 1.317)/c$,在 $[x_1, x_2]$ 之间,干物质积累处于快速增长阶段,在此区间外,积累速率变缓 [15]。

1.3 数据统计分析方法

数据均用 Excel 2003 进行处理并绘制图表,用 SPSS 20.0 软件进行相关统计分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对芸豆籽粒干物质积累的影响

芸豆籽粒干物质积累的动态变化均为“S”型曲线,呈“慢—快—慢”趋势(图 1 ~ 图 3)。不同强度、时间干旱胁迫后,籽粒干物质积累均有不同程度的降低,胁迫强度增加、胁迫时间延长,降幅增大。胁迫后复水,各处理籽粒干物质积累量与 CK 差异均减小。

2.1.1 苗期干旱胁迫对芸豆籽粒干物质积累的影响 苗期胁迫 5 d 复水 25 d 时,MS5(轻度胁迫 5 天)和 SS5(重度胁迫 5 天)处理百粒重分别比 CK 降低 6.16% 和 12.90% ,经方差分析,均与 CK 差异显著 ($P < 0.05$,下同)。MS5 处理复水 35 d,SS5 处理复水 40 d,与 CK 差异仍在增加,胁迫表现为滞后效应;MS5 处理复水 40 d,SS5 处理复水 45 d,与 CK 的差异开始减小,至复水 50 d,MS5 和 SS5 处理与 CK 差距减小至 2.41% 和 2.63% ,与 CK 差异均不显著,复水最终均表现出等量补偿效应 [16]。胁迫 10 d 处理的变化趋势与胁迫 5 d 处理相同(图 1)。

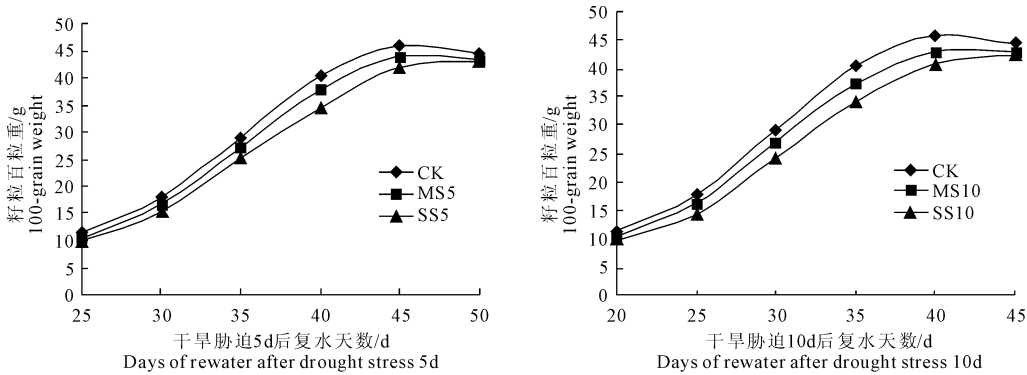


图 1 苗期干旱胁迫对芸豆百粒重的影响

Fig.1 Effect of drought stress on 100-grain weight of kidney beans during seedling stage

2.1.2 始花期干旱胁迫对芸豆籽粒干物质积累的影响 由图 2 可见,始花期胁迫 5 d 复水 5 d 时,MS5 和 SS5 处理百粒重分别比 CK 降低了 6.74% 和 14.37%,差异显著。与苗期胁迫 5 d 处理相比,降幅增大。此后处理与 CK 差异继续增加,MS5 处理复水 20 d,SS5 处理复水 15 d,百粒重比 CK 的降幅

分别达到 8.99% 和 21.37%,胁迫表现为滞后效应; MS5 和 SS5 处理复水 25 d 和 20 d 后,与 CK 的差异开始减小,至复水 30 d,MS5 和 SS5 处理与 CK 差距减小至 5.94% 和 11.44%,差异显著,处理与 CK 的比值分别达到 0.94 和 0.89,复水最终表现出部分补偿效应。胁迫 10 d 处理的表现与胁迫 5 d 相同。

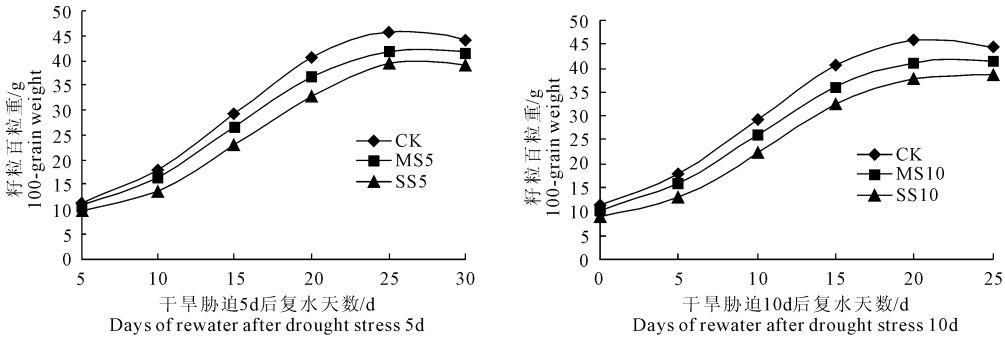


图 2 花期干旱胁迫对芸豆百粒重的影响

Fig.2 Effect of drought stress on 100-grain weight of kidney beans during flowering stage

2.1.3 结荚期干旱胁迫对芸豆籽粒干物质积累的影响 由图 3 可知,结荚期胁迫 5 d,MS5 和 SS5 处理百粒重分别比 CK 降低 12.02% 和 24.05%,差异显著。复水后两处理与 CK 差异的变化趋势不同,MS5 处理与 CK 的差异减小,至复水 25 d,降幅达到

6.02%,差异显著。SS5 处理复水后与 CK 差异仍在增加,复水 5 d 时达到 28.54%,胁迫表现为滞后效应;复水 10 d 后,处理与 CK 的差异开始减小,至复水 25 d,比 CK 降低 12.64%,差异显著,两处理复水均表现出部分补偿效应。

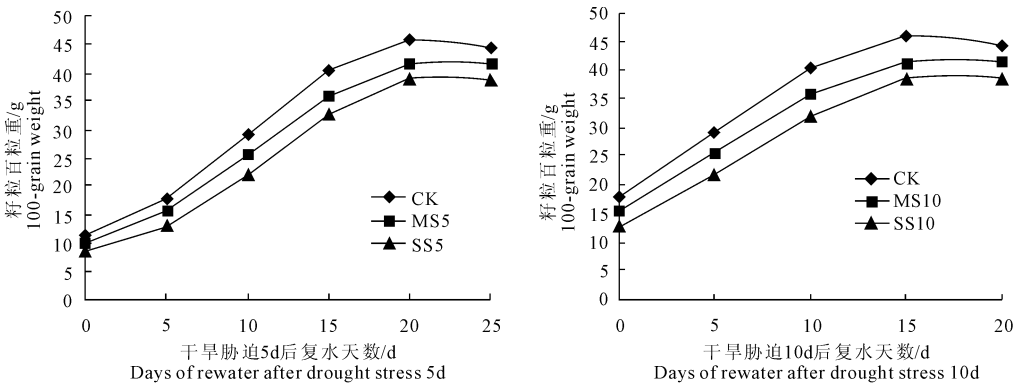


图 3 结荚期干旱胁迫对芸豆百粒重的影响

Fig.3 Effect of drought stress on 100-grain weight of kidney beans during pod-setting stage

胁迫 10 d 处理,MS10 和 SS10 处理百粒重变化趋势与胁迫 5 d 不同,复水当日分别比 CK 降低 12.50% 和 29.10%,差异显著。复水后,两处理与 CK 差异逐渐减小,复水 20 d,两处理分别比 CK 降低 6.47% 和 13.39%,差异显著,复水仍产生了部分补偿效应。

2.2 干物质积累 Logistic 模型的建立

分别对不同干旱胁迫下干物质积累进行模型拟合,整理后的 Logistic 方程及特征参数见表 1。

建立模型时,以百粒重 (Y) 为因变量,以开花后

天数 (x) 为自变量。7 月 31 日实测百粒重最大,理论值以此时计算 ($x = 34$)。

由表 1 可见,对干物质积累过程用 Logistic 方程进行拟合, R^2 均超过 0.98,说明该方程可用于描述芸豆干物质的积累过程。

将开花后采样所得到的实际百粒重最大的天数 (34 d) 代入各拟合方程,求得模型的理论百粒重,与实际百粒重相差不超过 1.85 g,这也说明 Logistic 曲线模拟拟合度较高。从百粒重来看,干旱胁迫使百粒重均降低,重度胁迫降幅均大于轻度胁迫;荚期胁

迫降幅最大,花期次之,苗期胁迫对百粒重影响最小,这表明苗期胁迫产生的影响可以通过复水后的补偿作用得到一定程度的恢复。

表 1 不同干旱胁迫处理芸豆干物质积累过程的 logistic 方程及特征参数

Table 1 Equations and Parameters of logistic model for dry matter accumulation in kidney beans under different drought stress									
处理 Treatment	Logistic 方程 Logistic Equation	R^2	实际百粒重/g Actual 100-grain weight	理论百粒重/g Simulative 100-grain weight	特征参数 Characteristic parameter				
					x_1	x_2	干物质积累的最 大速率/(g·d ⁻¹) Rate of the maximum dry matter accumulation	干物质积累 最快的时间/d Time of the maximum dry matter accumulation	
正常供水 CK	$y = 47.7775 / (1 + e^{(4.0673 - 0.192365x)})$	0.9861	45.900	44.062	14.3	28.0	2.298	21.1	
苗期轻度 5d SMS5	$y = 46.8008 / (1 + e^{(3.9717 - 0.182546x)})$	0.9892	44.000	42.277	14.5	29.0	2.136	21.8	
苗期重度 5d SSS5	$y = 47.3175 / (1 + e^{(3.7864 - 0.164743x)})$	0.9946	42.133	40.691	15.0	31.0	1.949	23.0	
苗期轻度 10d SMS10	$y = 45.9947 / (1 + e^{(3.9588 - 0.182109x)})$	0.9914	42.767	41.541	14.5	29.0	2.094	21.8	
苗期重度 10d SSS10	$y = 46.4176 / (1 + e^{(3.8191 - 0.165125x)})$	0.9938	40.800	39.806	15.2	31.1	1.916	23.1	
始花期轻度 5d SMS5	$y = 44.7972 / (1 + e^{(3.9124 - 0.182269x)})$	0.9904	41.900	40.658	14.2	28.7	2.041	21.5	
始花期重度 5d SSS5	$y = 43.3223 / (1 + e^{(3.9117 - 0.171390x)})$	0.9853	39.600	37.762	15.1	30.5	1.856	22.8	
始花期轻度 10d SMS10	$y = 44.4886 / (1 + e^{(3.9091 - 0.179772x)})$	0.9921	41.133	40.063	14.4	29.1	1.999	21.7	
始花期重度 10d SSS10	$y = 41.9296 / (1 + e^{(4.0684 - 0.177754x)})$	0.9898	37.733	36.822	15.5	30.3	1.863	22.9	
荚期轻度 5d SMS5	$y = 44.8949 / (1 + e^{(3.9763 - 0.181286x)})$	0.9915	41.667	40.366	14.7	29.2	2.035	21.9	
荚期重度 5d SSS5	$y = 42.1777 / (1 + e^{(4.2246 - 0.184394x)})$	0.9880	38.867	37.345	15.8	30.1	1.944	22.9	
荚期轻度 10d SMS10	$y = 43.3525 / (1 + e^{(4.6743 - 0.213229x)})$	0.9947	41.200	40.286	15.7	28.1	2.311	21.9	
荚期重度 10d SSS10	$y = 40.5431 / (1 + e^{(4.9954 - 0.218011x)})$	0.9927	38.567	37.223	16.9	29.0	2.210	22.9	

各处理变化速率均表现出慢-快-慢的趋势,即速率先缓慢增加,之后加速增加,最后再趋于平缓。CK 处理干物质积累加速的时间拐点出现在 7 月 12 日—25 日之间;苗期和始花期轻度胁迫处理拐点出现在 7 月 12 日—26 日之间,重度胁迫处理拐点出现在 7 月 13 日—28 日之间,干物质积累加速的时间延长;荚期胁迫处理拐点出现在 7 月 12、14 日—25、27 日之间,胁迫程度加强,干物质积累加速的时间缩短,最终导致百粒重比 CK 降低较大。

干旱胁迫导致干物质积累速率下降,除荚期干旱胁迫 10 d 外,其他处理的最大速率均小于 CK,重度胁迫小于轻度胁迫,与 CK 差异均显著。荚期干旱胁迫 10 d 与 CK 差异不显著。各处理干物质积累最快的时间均出现在 7 月 19 日—20 日之间,干旱胁迫下籽粒到达干物质积累最快的时间比 CK 处理晚 1 d 左右。

3 结论和讨论

对作物干旱胁迫的研究较多,但对芸豆干物质积累方面的研究少见报道。本文进行了探索性研究,目的是明确干旱胁迫对干物质积累的影响机制,为后续研究奠定基础。

本研究表明,芸豆在不同时期、强度和时间的干旱胁迫下,籽粒干物质的动态变化均为“S”型曲线,

呈“慢—快—慢”趋势。在苗期和始花期进行干旱胁迫,各处理在复水过程中,均表现出滞后效应,而后通过复水得以补偿。在苗期进行干旱胁迫,复水最终表现为等量补偿效应,说明该时间干旱胁迫虽然对芸豆生长产生了一定的影响,但并未显著降低最终干物质产量。始花期和结荚期干旱胁迫,最终表现为部分补偿效应,未能等量补偿,在这两个时期受到干旱胁迫,干物质产量会受到影响而降低。由此可见,在水分亏缺条件下,为充分利用有限的水资源,可在苗期适当进行干旱胁迫,以提高水分利用效率,但在始花期和结荚期则不能进行干旱胁迫,否则会影响最终的干物质积累量。此外,本研究还表明,不同强度胁迫下,干物质积累规律为正常供水>中度干旱>重度干旱,不同胁迫时间下,胁迫 5 d>胁迫 10 d,最终产量形成规律也与此一致。

从干物质积累动态过程整体特征出发,用 a 、 b 、 c 三个曲线参数建立了干物质积累的 Logistic 模型,进而利用 $ac/4$ 、 b/c 、 x_1 、 x_2 四个特征参数描述了籽粒干物质积累的规律,揭示了干物质积累的最大速率以及出现时间、“慢—快—慢”趋势出现的拐点,从中分析了籽粒干物质积累量下降的原因。模型的决定系数均达 0.98 以上,表明该模型可以较客观地描述芸豆籽粒干物质积累的动态过程。

版社,1999:197.

[3] 陈学敏,陈大雕,袁 达.坡地喷灌灌水量分布计算模型及其应用[J].水利学报,1989,(7):12-19.

[4] Nakayama F S, Bucks D A. mitter clogging effects on trickle irrigation uniformity[J]. Trans ASAE,1981,24(7):77-80.

[5] Chieng S, Ghaemi A. Uniformity in a micro – irrigation with partially clogged emitters[C]//2003ASAE Annual International Meeting. Michigan: ASAE,2003:1 – 11.

[6] 翟国亮,吕谋超,王 辉.微灌系统的堵塞及防治措施[J].农业工程学报,1999,15(1):144-147.

[7] Bucks D A, Nakayama F R. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance [J]. Agricultural Water Management,1979,2(2): 149-162.

[8] Nakayama FR, Bucks D A. Water quality in drip/trickle irrigation:a review[J]. Irrigation Science,1991,12(4):187-192.

[9] 魏正英,赵万华,唐一平,等.滴灌灌水器迷宫流道主航道抗堵设计方法研究[J].农业工程学报,2005,21(6):1-7.

[10] 李云开,杨培岭,任树梅.滴灌灌水器流道设计理论研究若干问题的综述[J].农业机械学报,2006,37(2):145-149.

[11] 牛文全,吴普特,喻黎明.基于含沙量等值线的迷宫流道结构抗堵塞设计与模拟[J].农业工程学报,2010,26(5):14-20.

[12] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB/T 50485 – 2009.中国标准书号[S].北京:中国计划出版社,2009.

[13] Christiansen J E. Irrigation by sprinkling[R]. California Agricultural Experient Station, sacramento, California, 124, 1942.

[14] Keller J, Bliesner R. Sprinkler and trickle irrigation. Anavi Book [M]. New York :van Nostrand Reinbold, 1990.

[15] 张天举,仵 峰,邓 忠,等.不同坡度下压力对滴灌毛管均匀度的影响试验[J].水利水电科技进展,2007,27(3):24-26.

[16] 王建众,牛文全,吴普特,等.滴灌毛管灌水均匀度试验研究[J].人民黄河,2008,30(3):57-59.

[17] 张 林,范兴科,吴普特.低压条件下滴灌灌水均匀度试验研究[J].灌溉排水学报,2008,27(5):22-24.

(上接第 150 页)

作物产量形成的物质基础是干物质的积累及分配状况,本文用开花后天数作为自变量对干物质积累的动态进行了 Logistic 模型的拟合。该模型已应用于分析水稻、小麦、玉米和大豆等作物的干物质积累动态变化特征^[11-13],本文将该模型用于芸豆干物质积累动态变化特征的研究,得到不同干旱胁迫处理曲线的特征参数,并进行了参数分析。因相关文献报道较少,因此本模型还需进一步完善。

参 考 文 献:

[1] 闫志利,牛俊义.作物对于旱胁迫的响应机制研究进展[J].河北农业科学,2009,13(4):6-10.

[2] 王 程,刘 兵,金 剑,等.调节大豆籽粒生育的生理生态因素[J].农业系统科学与综合研究,2009,25(2):133-136.

[3] 张卫星,朱德峰,林贤青.干旱胁迫对不同超级稻品种植株形态和干物质积累的影响[J].福建农业学报,2010,25(1):47-52.

[4] 孟凡超,刘 明,于吉琳.水分胁迫对玉米产量及干物质分配的影响[J].江苏农业科学,2011,39(3):96-98.

[5] 华劲松.花荚期土壤水分胁迫对芸豆光合生理及产量性状的影响[J].作物杂志,2013,(2):111-114.

[6] 张法全,王小燕,于振文.公顷产 10 000 kg 小麦氮素和干物质积累与分配特性[J].作物学报,2009,35(6):1086-1096.

[7] 王玉杰,王永华,韩 磊.不同栽培管理模式对冬小麦花后干物质积累与分配特征及产量的影响[J].麦类作物学报,2011,31(5):894-900.

[8] Hunt R. Plant Growth Analysis[M]. London: Edward Arnold Publishers, 1982.

[9] 冯 妍.太阳辐射减弱下冬小麦生物量变化的大田试验与模拟研究[D].南京:南京信息工程大学,2011.

[10] 李国强,汤 亮,张文字.不同株型小麦干物质积累与分配对氮肥响应的动态分析[J].作物学报,2009,35(12):2258-2265.

[11] 吴奇峰,相吉山,董志新.大豆植株不同冠层籽粒干物质积累动态及产量分布[J].大豆科学,2011,30(4):596-601.

[12] Royo C, Blanco R. Growth analysis of five spring and five winter Triticale genotypes[J]. Agron J, 1999,91:305-311.

[13] 侯玉虹,陈传永,郭志强.作物高产群体干物质积累动态模型的构建及生长特性分析[J].玉米科学,2008,16(6):90-95.

[14] 闫志利.豌豆对水分胁迫的响应及复水效应研究[D].兰州:甘肃农业大学,2009.

[15] 赵 姣,郑志芳,方艳茹.基于动态模拟模型分析冬小麦干物质积累特征对产量的影响[J].作物学报,2013,39(2):300-308.

[16] 胡展育.植物受虫害后的补偿作用[J].文山师范高等专科学校学报,2007,20(4):106-109.