

干旱胁迫对亚有限大豆植株鲜重建成与分配的影响

刘峰¹, 宁海龙¹, 刘剑利¹, 李海旭¹, 桓海生², 李文宾¹

(1. 东北农业大学 大豆研究所, 大豆生物学教育部重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 佳木斯市东风区松江乡人民政府农服中心, 黑龙江 佳木斯 154014)

摘要:通过控水盆栽试验, 分别在大豆始花期、始粒期和全生育期进行干旱胁迫, 分析干旱胁迫对亚有限大豆品种光合产物分配的影响。结果表明: 在不同干旱处理下, 叶柄鲜重、叶片鲜重、茎秆鲜重、荚皮鲜重、籽粒鲜重、根鲜重、根瘤鲜重和单株根瘤数均随着干旱胁迫强度加大而下降。在全生育期和始花期干旱胁迫下, 地上鲜重占总鲜重的比例随干旱程度的增加而降低, 地下鲜重占总鲜重的比例随干旱程度的增加而提高; 在始粒期干旱胁迫下, 地上鲜重占总鲜重的比例随干旱程度的增加而提高, 地下鲜重占总鲜重的比例随干旱程度的增加而降低。随着干旱胁迫程度的提高, 叶柄鲜重、叶片鲜重、茎秆鲜重占地上鲜重的比例均提高, 根鲜重占地下鲜重的比例提高, 而荚皮鲜重和籽粒鲜重占地上鲜重的比例均下降, 根瘤鲜重占地下鲜重的比例下降。全生育期和始花期干旱胁迫促进光合产物向地下部分分配, 而始粒期干旱胁迫促进光合产物向地上部分分配。在地上部分, 干旱胁迫促进光合产物向叶柄、叶片、茎秆分配, 而向荚皮和籽粒分配减少; 在地下部分, 干旱胁迫促进光合产物向根分配, 而向根瘤分配量减少。

关键词:大豆; 干旱胁迫; 植株鲜重; 分配

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2011)04-0609-04

Effects of Drought Stress on Establishment and Distribution of Plant Fresh Weight in Semi-determinate Soybean(*Glycine max* L. Merrill) Varieties

LIU Feng¹, NING Hai-long¹, LIU Jian-li¹, LI Hai-xu¹, HUAN Hai-sheng², LI Wen-bin¹

(1. Soybean Biology Key Laboratory of Educational Ministry, Soybean Research Institute, Northeast Agricultural University, Harbin 150030; 2. Agricultural Technology Spreading Center of Songjiang Town, Jiamusi 154007, Heilongjiang, China)

Abstract: In order to analyze the effects of drought stress (DS) on distribution of photosynthetic products in soybean, two semi-determinate soybean cultivars were grown under greenhouse conditions and subjected to drought stress at initial flowering (R1), initial seed-filling (R3) and whole growth stage (V1-R7), respectively. Plants were sampled at R7 and fresh weights of each organ as well as nodule number were determined. Fresh weight of petiole, leaf, stem, pod shell, seed, root, nodule and nodule number decreased as the increase of DS under different stages. Ratio of aboveground fresh weight to total fresh weight decreased as the increase of DS at whole growth stage and initial flowering, while increased under DS at initial seed-filling. As the degree of DS increased, ratio of fresh weight of petiole, leaf and stem to aboveground fresh weight and that of root to underground part increased, while ratio of fresh weight of pod shell, seed and root nodule to their counterpart decreased. Results suggest that DS at whole growth stage and initial flowering accelerate the distribution of photosynthetic products to underground part, while to aboveground part for DS at initial seed-filling. For aboveground part, DS promote the distribution of photosynthetic product to petiole, leaf and stem, while DS promote the distribution of photosynthetic product to root for underground part.

Key words: Soybean; Drought stress; Plant fresh weight; Distribution

大豆需水量高, 是豆类作物中对缺水最敏感的一种。我国大部分大豆产区由于气候干旱又缺乏必要的灌溉条件, 每年总有一些地区因干旱而影响植株的正常生长发育, 造成大豆的产量降低。

关于干旱胁迫对大豆生长进程的影响有较深入的研究。大豆的生长对干旱胁迫最敏感^[1]。当

大豆长期处于水分短缺状态时, 会引起植株体内水分亏缺, 使植株的正常代谢活动受到影响, 生长发育受到抑制。初花期和鼓粒期干旱都会造成叶面积变小, 根系生长受阻, 根系活力降低, 生物产量降低, 最终导致籽粒产量大幅度下降^[2]。无论垄作还是密植, 干旱严重影响大豆叶片不同部位叶面积,

收稿日期: 2011-05-28

基金项目: 哈尔滨科技创新人才研究专项资金资助项目(2007RFQXN014)。

第一作者简介: 刘峰(1984-), 男, 在读硕士, 研究方向为大豆遗传育种。

通讯作者: 宁海龙(1975-), 男, 教授, 博士生导师, 从事大豆遗传育种研究。E-mail: ninghailongneau@126.com。

影响整个植株的生长发育,进而影响产量^[3]。大豆生育前期、中期和后期土壤含水量低,植株生长缓慢,生长量小。前期土壤含水量低,中期水分过多,后期水分过低,植株生长缓慢,生物产量小。前期土壤含水量低,但中期和后期含水量有所提高,植株生长量也有所增加。土壤含水量始终维持在30%,植株生长最快,生长量也最大。然而,如果在生育中期土壤水分过高,对生长则是不利的^[4]。正常光照条件下,干旱胁迫对根重和根瘤均产生胁迫^[5]。根瘤数目的减少,会使固氮总量减少;根瘤重的减轻,会导致固氮酶活性的降低^[6],植物地下部分与地上部分生物量比率的大小,反映了植物对环境因子的需求和竞争能力,当植物受到干旱胁迫时,根系生物量在整个植物生物量中所占比重的变化,是鉴定植物抗旱性的重要指标之一^[7]。不同程度的干旱胁迫均能明显降低大豆植株的干物质积累量,而且干旱胁迫程度越重,其降低幅度越大^[8]。以往研究多集中于干旱对大豆植株生长过程中干物重的影响,该文通过控水盆栽试验手段,在大豆全生育期、花荚期、鼓粒期分别进行干旱胁迫,研究比较2个亚有限大豆品种的植株鲜重建成和分配,为大豆逆境高产栽培提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2008和2009年在佳木斯兴宇生物技术开发有限公司进行,大豆品种合丰35和垦农18,均为亚有限结荚习性。

采用盆栽试验,试验选用内径28 cm,高度33 cm的塑料盆,每盆装干土15 kg。盆土为黑土,土壤中含有机质 $42.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮 $1\,900\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,全磷 $620\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,全钾 $24\,300\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效氮 $217.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $14.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $169.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

每盆土中含水量利用整体称重法控制,为防止土壤水分快速蒸发,在盆土表层覆盖一层沙土。设土壤田间最大持水量为28%,水分处理共分为4个等级,分别为:80%~85%(对照CK,占田间最大持水量的百分数,下同);70%~75%(轻度干旱胁迫)、55%~60%(中度干旱胁迫)、40%~45%(重度干旱胁迫)。胁迫时间分别为全生育期、始花期

(R1)和始粒期(R3),胁迫7 d后恢复供水。完全随机设计,3次重复。5月7日播种,每盆施底肥磷酸二铵1.6 g,尿素0.8 g,俄罗斯氯化钾0.8 g,每盆播种6粒,出苗后保留3株。

1.2 测定项目与方法

于始熟期(R7)分别测定不同处理植株的地上部分鲜重、叶柄鲜重、叶片鲜重、茎秆鲜重、荚皮鲜重、籽粒鲜重、地下部分鲜重、根的鲜重、根瘤鲜重、根瘤个数等。地上部分和地下部分的分界点为子叶节。

地上各部分鲜重测定:用电子天平测量,精确到0.1 g。

地下根鲜重测定:水泡土壤至松软,流水冲洗,注意不要将断根和根瘤冲走,沥干后称重,精确到0.1 g。

根瘤个数测定:人工计数。

根瘤鲜重测定:用电子天平测量,精确到0.1 g。

1.3 数据分析

利用Excel 2003进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对总鲜重的影响

不同生育时期、不同程度干旱胁迫下2个大豆品种的总鲜重、地上鲜重和地下鲜重见表1。在不同干旱处理下,总鲜重、地上鲜重和地下鲜重均随着干旱胁迫强度加大而下降。在全生育期干旱胁迫和始花期干旱胁迫下,地上鲜重占总鲜重的比例随干旱程度的增加而降低,地下鲜重占总鲜重的比例随干旱程度的增加而提高;始粒期干旱胁迫下,地上鲜重占总鲜重的比例随干旱程度的增加而提高,地下鲜重占总鲜重的比例随干旱程度的增加而降低。说明全生育期和始花期干旱胁迫促进光合产物向地下部分分配,而始粒期干旱胁迫促进光合产物向地上部分分配。

2.2 干旱胁迫对大豆地上部分鲜重的影响

由表2可知,受到不同程度的干旱胁迫后,地上部分的生长均受到抑制,叶柄鲜重、叶片鲜重、茎秆鲜重、荚皮鲜重和籽粒鲜重都显著下降,下降幅度随着干旱胁迫的加重而增加。在不同程度的干旱胁迫下,始粒期干旱胁迫与始花期干旱胁迫处理的叶柄鲜重、叶片鲜重、茎秆鲜重、荚皮鲜重和籽粒

表 1 不同干旱胁迫处理的总鲜重

Table 1 Total fresh weight under different drought stress of two varieties

指标 Index	处理 Treatment	合丰 35 Hefeng 35						垦农 18 Kennong 18					
		全生育期		始花期		始粒期		全生育期		始花期		始粒期	
		V1 – R7		R1		R3		V1 – R7		R1		R3	
		/g	/%	/g	/%	/g	/%	/g	/%	/g	/%	/g	/%
总鲜重	对照 CK	64.30	–	115.94	–	107.85	–	57.43	–	105.13	–	98.21	–
Total fresh weight	轻度 Slight DS	43.61	–	90.73	–	94.09	–	37.89	–	78.22	–	90.07	–
	中度 Moderate DS	33.37	–	74.75	–	79.39	–	27.02	–	64.22	–	80.81	–
	重度 Serious DS	21.82	–	69.44	–	77.45	–	20.17	–	60.62	–	68.68	–
地上鲜重	对照 CK	55.76	86.72	106.16	91.56	97.55	90.45	51.22	89.19	97.24	92.50	89.76	91.40
Aboveground fresh weight	轻度 Slight DS	36.41	83.49	82.17	90.57	85.45	90.82	32.52	85.83	71.18	91.00	82.67	91.78
	中度 Moderate DS	27.77	83.22	67.41	90.18	72.67	91.54	23.15	85.68	58.44	91.00	75.67	93.64
	重度 Serious DS	17.40	79.74	62.95	90.65	71.11	91.81	17.01	84.33	55.33	91.27	63.91	93.05
地下鲜重	对照 CK	8.54	13.28	9.78	8.44	10.30	9.55	6.21	10.81	7.89	7.50	8.46	8.61
Underground fresh weight	轻度 Slight DS	7.20	16.51	8.56	9.43	8.64	9.18	5.37	14.17	7.06	9.03	7.40	8.22
	中度 Moderate DS	5.60	16.78	7.34	9.82	6.72	8.46	3.87	14.32	5.78	9.00	5.14	6.36
	重度 Serious DS	4.42	20.26	6.49	9.35	6.34	8.19	3.16	15.67	5.29	8.73	4.77	6.95

鲜重绝对量差异不大,均高于全生育期干旱胁迫处理。

植株总鲜重的比例均提高,而荚皮鲜重和籽粒鲜重占植株总鲜重的比例均下降,这说明干旱胁迫促进

从植株各器官占地上总鲜重的比例看,随干旱胁迫程度的增加,叶柄鲜重、叶片鲜重、茎秆鲜重占

光合产物向叶柄、叶片、茎秆分配,而向荚皮和籽粒分配量减少。

表 2 干旱胁迫对大豆地上部分鲜重的影响

Table 2 Effects of drought stress on the aboveground part of soybean

指标 Index	处理 Treatment	合丰 35 Hefeng 35						垦农 18 Kennong 18					
		全生育期		始花期		始粒期		全生育期		始花期		始粒期	
		V1 – R7		R1		R3		V1 – R7		R1		R3	
		/g	/%	/g	/%	/g	/%	/g	/%	/g	/%	/g	/%
叶柄鲜重	对照 CK	3.53	6.34	10.51	9.90	9.21	9.44	5.45	10.64	10.28	10.57	9.25	10.31
Fresh weight of leaf	轻度 Slight DS	2.62	7.20	10.02	12.19	8.56	10.02	3.64	11.20	8.44	11.86	8.84	10.69
of leaf stalk	中度 Moderate DS	2.77	9.97	7.39	10.96	6.49	8.93	2.66	11.49	7.40	12.67	8.20	10.84
	重度 Serious DS	2.81	16.15	7.81	12.41	6.62	9.31	2.44	14.35	7.34	13.26	7.06	11.04
叶片鲜重	对照 CK	16.75	30.04	30.33	28.57	29.55	30.29	15.17	29.61	25.17	25.88	27.88	31.06
Fresh weight of leaf	轻度 Slight DS	11.47	31.50	24.04	29.26	27.76	32.49	9.79	30.11	18.69	26.26	27.26	32.98
	中度 Moderate DS	8.98	32.34	20.48	30.38	24.58	33.82	7.35	31.76	16.25	27.8	25.80	34.09
	重度 Serious DS	5.26	30.23	20.30	32.24	25.24	35.49	5.52	32.48	15.68	28.34	23.34	36.52
茎秆鲜重	对照 CK	7.06	12.66	15.45	14.55	15.95	16.35	6.77	13.22	17.18	17.67	13.77	15.34
Fresh weight of stem	轻度 Slight DS	4.64	12.74	12.54	15.26	15.60	18.26	4.56	14.03	14.14	19.86	14.19	17.16
	中度 Moderate DS	3.61	13.00	11.01	16.34	14.16	19.48	3.36	14.53	11.53	19.73	13.26	17.52
	重度 Serious DS	2.29	13.16	11.31	17.97	14.66	20.61	2.62	15.42	12.12	21.9	12.12	18.96
荚皮鲜重	对照 CK	8.03	14.4	15.54	14.64	12.62	12.94	6.86	13.40	14.80	15.22	9.98	11.12
Fresh weight of pod wall	轻度 Slight DS	5.00	13.72	9.63	11.72	9.13	10.69	4.02	12.37	9.74	13.68	8.29	10.03
	中度 Moderate DS	3.29	11.84	7.98	11.84	7.49	10.31	2.50	10.79	7.63	13.06	7.26	9.59
	重度 Serious DS	1.92	11.06	6.33	10.06	6.38	8.97	1.72	10.13	6.46	11.68	5.73	8.96
籽粒鲜重	对照 CK	20.39	36.56	34.33	32.34	30.22	30.98	16.97	33.13	29.81	30.66	28.88	32.17
Fresh weight of seeds	轻度 Slight DS	12.68	34.83	25.94	31.57	24.39	28.54	10.50	32.29	20.17	28.34	24.09	29.14
	中度 Moderate DS	9.12	32.85	20.55	30.48	19.96	27.46	7.28	31.43	15.63	26.74	21.16	27.96
	重度 Serious DS	5.12	29.4	17.20	27.32	18.22	25.62	4.70	27.62	13.73	24.82	15.67	24.52

2.3 干旱胁迫对大豆地下部分鲜重的影响

由表 3 可知,不同时期干旱胁迫降低了根鲜重、根瘤鲜重和单株根瘤数,下降幅度随着干旱胁迫的加重而增加。在不同程度干旱胁迫下,始花期干旱

胁迫和始粒期干旱胁迫的根鲜重差异不大,均高于全生育期干旱胁迫的根鲜重。始花期干旱胁迫下单株根瘤数略高于全生育期干旱胁迫的单株根瘤数。

从植株各器官占地下总鲜重的比例看,与对照比较,干旱胁迫下根鲜重占地下总鲜重的比例均提高,而根瘤鲜重占地下总鲜重的比例均下降,变化

幅度均随着胁迫程度的加重而增加,这说明干旱胁迫促进光合产物向根分配,而向根瘤分配量减少。

表 3 干旱胁迫对大豆地下部分的影响

Table 3 Effects of drought stress on the underground part of soybean plant

指标 Index	处理 Treatment	合丰 35 Hefeng 35						垦农 18 Kennong 18					
		全生育期		始花期		始粒期		全生育期		始花期		始粒期	
		V1 - R7		R1		R3		V1 - R7		R1		R3	
		/g	/%	/g	/%	/g	/%	/g	/%	/g	/%	/g	/%
根鲜重	对照 CK	6.10	71.43	6.74	68.88	6.87	66.70	4.27	68.76	5.57	70.6	6.02	71.23
Fresh weight of root	轻度 Slight DS	5.43	75.42	6.25	73.04	6.30	72.86	4.12	76.72	5.41	76.64	5.40	72.96
	中度 Moderate DS	4.40	78.57	5.52	75.25	4.93	73.30	3.01	77.84	4.54	78.61	3.93	76.52
	重度 Serious DS	3.53	79.81	5.01	77.27	4.88	76.97	2.51	79.43	4.25	80.42	3.80	79.59
根瘤鲜重	对照 CK	2.44	28.57	3.04	31.12	3.43	33.3	1.94	31.24	2.32	29.4	2.43	28.77
Fresh weight of root nodule	轻度 Slight DS	1.77	24.58	2.31	26.96	2.34	27.14	1.25	23.28	1.65	23.36	2.00	27.04
	中度 Moderate DS	1.20	21.43	1.82	24.75	1.79	26.70	0.86	22.16	1.24	21.39	1.21	23.48
	重度 Serious DS	0.89	20.19	1.48	22.73	1.46	23.03	0.65	20.57	1.04	19.58	0.97	20.41

3 讨 论

在大豆各个器官中,叶和根是源,而莢是库。叶是制造光合同化物的器官,叶片发育的好坏,直接影响光合产物形成的多少,进而影响作物产量的高低^[4]。根系是植物直接吸收水分的重要器官,对植物的耐旱功能具有至关重要的作用^[6]。在不同时期的干旱处理下,叶柄鲜重和叶片鲜重、根鲜重和根瘤鲜重随着干旱胁迫强度加大而下降。但从地上部分和地下部分植株各器官的比例看,随着干旱胁迫程度的提高,叶柄鲜重、叶片鲜重占地上总鲜重的比例也提高,根鲜重占地下鲜重的比例均提高。这说明干旱降低单株大豆的光合产物合成、氮的固定和营养物质吸收,但是促进了有限光合产物和营养物质向源转移。从库看,在不同时期的干旱处理下,莢皮鲜重和籽粒鲜重均随着干旱胁迫强度加大而下降,而莢皮鲜重和籽粒鲜重占地上鲜重的比例均下降。说明干旱胁迫降低光合产物和营养物质向库的转移。因此,在干旱条件下,要获得高额的籽粒产量,必须采取适宜的种植密度,弥补因干旱造成库的损失。

4 结 论

在不同时期的干旱处理下,总鲜重、地上鲜重、叶

柄鲜重、叶片鲜重、茎秆鲜重、莢皮鲜重、籽粒鲜重、地下鲜重、根鲜重、根瘤鲜重和单株根瘤数均随着干旱胁迫强度加大而下降。全生育期干旱胁迫和始花期干旱胁迫促进光合产物向地下部分分配,而始粒期干旱胁迫促进光合产物向地上部分分配。在地上部分,干旱胁迫促进光合产物向叶柄、叶片、茎秆分配,而向莢皮和籽粒分配量减少,在地下部分,干旱胁迫促进光合产物向根分配,而向根瘤分配量减少。

参考文献

- [1] 杨鹏辉,李贵全,郭丽,等. 干旱胁迫对不同抗旱大豆品种花英期质膜透性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(3):127-130. (Yang P H,Li G Q,Guo L,et al. Effect of drought stress on plasma mambrane permeality of soybean varieties during flowering-podding stage[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2003, 21(3):127-130.)
- [2] 谢甫缙,董钻,孙艳环,等. 不同生育时期干旱对大豆生长和产量的影响[J]. 沈阳农业大学学报,1994,25(1):13-16. (Xie F T,Dong Z,Sun Y H,et al. Influence of drought on growth and yield of soybeans at different growth stages[J]. Journal of Shenyang Agricultural University,1994,25(1):13-16.)
- [3] 赵桂范. 干旱对合丰 42 不同部位叶片发育的影响[J]. 黑龙江农业科学,2009(1):29-30. (Zhao G F. Effect of drought on development of different part of leaves of Hefeng 42[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences,2009(1):29-30.)

(下转第 620 页)

- phosphate-dissolving microorganisms in plant rhizosphere [J]. Grassland and Turf, 2003(1):3-7.)
- [11] 赵小蓉,林启美. 微生物解磷的研究进展[J]. 土壤肥料, 2001(3):7-11. (Zhao X R, Lin Q M. A review of phosphate dissolving microorganisms[J]. Soils and Fertilizers, 2001(3):7-11.)
- [12] 吕学斌,孙亚凯,张毅民. 几株高效溶磷菌株对不同磷源溶磷活力的比较[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5):195-197. (Lv X B, Sun Y K, Zhang Y M. Comparative research on the influences of several high efficient phosphate-solubilizing strains on phosphate solubilizing activity[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(5):195-197.)
- [13] 高海燕,王善广,胡小松. 利用反相高效液相色谱法测定梨汁中有机酸的种类和含量[J]. 食品与发酵工业, 2004(8):96-100. (Gao H Y, Wang S G, Hu X S. Study on determination of kinds and contents of organic acids in pear juice by high performance liquid chromatography [J]. Food and Fermentation Industries, 2004(8):96-100.)
- [14] Sambrook J. Molecular cloning: A laboratory manual [M]. 3rd edition. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2001.
- [15] 蔡柏岩,葛菁萍,祖伟. 不同磷肥水平对大豆磷营养状况和产量品质性状的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3):404-410. (Cai B Y, Ge Q P, Zu W. Effect of phosphorus levels on soybean phosphorus nutrition, yield and quality[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(3):404-410.)
- [16] 吴明才,肖昌珍,郑普英. 大豆磷素营养研究[J]. 中国农业科学, 1999, 32(3):59-65. (Wu M C, Xiao C Z, Zheng P Y. Study on the physiological function of phosphorus to soybean[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1999, 32(3):59-65.)
- [17] 徐青萍,罗超云,廖红,等. 大豆不同品种对磷胁迫反应的研究[J]. 大豆科学, 2003, 22(2):108-114. (Xu Q P, Luo C Y, Liao H, et al. Study on the response of soybean varieties to P deficiency[J]. Soybean Science, 2003, 22(2):108-114.)
- [18] 张玉兰,王俊宇,马星竹,等. 提高磷肥有效性的活化技术研究进展[J]. 土壤通报, 2009, 40(1):194-199. (Zhang Y L, Wang J Y, Ma X Z, et al. Advances on activating technique research in improving the validity of phosphorus fertilizer[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2009, 40(1):194-199.)
- [19] 刘君,蔡昆争,骆世明,等. 磷处理对不同磷效率基因型大豆根系性状和干物质积累及产量的影响[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2008, 25(3):211-214. (Liu J, Cai K Z, Luo S M, et al. Effects of phosphorous treatment on root traits and dry matter accumulation and yield of soybean genotypes with different P efficiency[J]. Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science), 2008, 25(3):211-214.)
- [20] Holl F B, Chanway C P, Turkington R et al. Response of crested wheatgrass (*Agrop. vron cristafum* L.), perennial ryegrass (*Lolium perenne*) and white clover (*Trifolium repens* L.) to inoculation with *Bacillus polymyxa* [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1988, 20:19-24.
- [21] Lin Q M, Wang H, Zhao X R, et al. Capacity of some bacteria and fungi in dissolving rock [J]. Microbiologica Sinica Bulletin, 2001, 28(2):26-30.
- [22] 王光华,周克琴,金剑,等. 不同碳源对三种溶磷真菌溶解磷矿粉能力的影响[J]. 生态学杂志, 2004, 23(2):32-36. (Wang G H, Zhou K Q, Jin J, et al. Effect of different C sources on the solubilization of rock phosphate by three phosphate solubilizing fungi (PSF) [J]. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(2):32-36.)
- [23] Chanwa C P, Radley R A, Holl F B, et al. Effect of *Bacillus* strains on growth of pine (*Pinus contorta* Dougl.), spruce (*Picea glauca* Voss.) and douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) Franco) [J]. The Rhizosphere and Plant Growth, 1991:366.
- [24] Camacho M, Santamaría C, Temprano F, et al. Co-inoculation with *Bacillus* sp. CECT 450 improves nodulation in *Phaseolus vulgaris* L. [J]. Canadian Journal of Microbiology, 2001, 47:1058-1062.
- [25] Mantelin S, Saux M F L, Zakhia F, et al. Emended description of the genus *Phyllobacterium* and description of four novel species associated with plant roots: *Phyllobacterium bourgognense* sp. nov., *Phyllobacterium ifriqiense* sp. nov., *Phyllobacterium leguminum* sp. nov. and *Phyllobacterium brassicacearum* sp. [J]. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2006, 56:827-839.

(上接第 612 页)

- [4] 王琳,董钻,张宪政. 土壤水分状况对大豆生长和产量的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 1991, 22(4):49-53. (Wang L, Dong Z, Zhang X Z. The effect of soil moisture state on the growth and yield of soybean[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 1991, 22(4):49-53.)
- [5] 郑淑娟. 水分光照与硼对大豆生长发育及根系性状的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2006. (Zheng S J. The effect of soil moisture and illumination and boron on growth and root character of soybean[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2006.)
- [6] Albrecht S L, Boote K J, Bennett J M. Relationship of nitrogenase activity to plant water stress in field grown soybeans *Glycine max* [J]. Field Crops Research, 1984, 8:61-72.
- [7] Hsiao T C, Xu I K. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport [J]. Journal of Experimental Botany, 2000, 51:1595-1616.
- [8] 王芳,朱洪德,李伟. 干旱胁迫对不同大豆品系干物质积累的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2006, 18(2):23-26. (Wang F, Zhu H D, Li W. The influence of drought stress on the soybean dry substance[J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2006, 18(2):23-26.)