

高产春大豆豆荚与叶片的光合性能研究

李金霞,章建新,吕淑萍

(新疆农业大学 农学院,新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:以黑农 38 等 6 个不同基因型大豆为材料,在鼓粒期对豆荚和叶片的面积在主茎上垂直分布、荚皮和叶片的叶绿素含量、光合速率等生理参数进行了研究。结果表明:高产春大豆在鼓粒期间荚面积为叶片面积的 19.83%~35.44%,荚皮叶绿素含量为叶片的 5.67%~8.20%,荚的真光合速率为叶片的 13.32%~55.98%。黑农 38 的荚面积占叶面积百分比值、叶片的真光合速率均最高,分别为 34.85%、 $26.4\text{ }\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$;豆荚的真光合速率以吉育 67 最高,为 $8.48\text{ }\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,石豆 2 号最低,为 $2.24\text{ }\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。荚的主要光合生理参数基因型之间的差异大。要进一步提高大豆产量,应发挥鼓粒期荚的光合潜力。

关键词:大豆;豆荚;光合性能;基因型

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-9841(2009)06-1026-05

Photosynthetic Characteristics in Pod and Leaves of High-Yield Spring Soybean

LI Jin-xia,ZHANG Jian-xin,LU Shu-ping

(College of Agronomy,Xinjiang Agricultural university,Urumqi 830052,China)

Abstract:Taking 6 high-yield soybean cultivars as material,the vertical distribution of pod and leaf area in stem,the physiological parameters of chlorophyll contents,photosynthetic rate(P_n) of pod and leaf in seed-filling period were investigated. Results indicated that the pod-area accounted 19.83%-35.44% of the leaf-area,pod chlorophyll content and true photosynthetic rate accounted 5.67%-8.20%,and 13.32%-55.98%. Heinong 38 had highest ratio of pod-area to leaf-area and leaf true photosynthetic rate,which was 34.85% and $26.4\text{ }\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,respectively. For pod true photosynthetic rate,Jiyu 67 was highest of $8.48\text{ }\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,and Shidou 2 was the lowest of $2.24\text{ }\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. The photosynthetic parameters of soybean pod varied greatly among genotypes,and pod photosynthetic traits in seed-filling period had great potential in improving soybean yield.

Key words:Soybean;Pod;Photosynthetic;Genotype

光合性能是决定大豆产量的基础。大豆光合器官除叶片外,还有荚、绿茎等。以往有关大豆光合的研究多集中在叶片上^[1-3]。豆荚作为叶片的同源器官,具有一套完整的光合作用结构系统^[4],它对产量的光合贡献仅次于叶片^[5],而受到广泛关注。近年来,有关豆荚的形态结构、组织分化以及豆荚衰老生理^[6-8]等已有较多的研究。荚光合对产量的贡献^[9]和其光合特性^[10-11]研究很少。该试验系统地研究了新疆高产春大豆荚和叶片光合性能主要生理参数的基因型差异,为大豆高产育种与栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

有限结荚习性:黑农 38、吉育 63、哈 91-701、黑农 41、石豆 2 号;亚有限结荚习性:吉育 67。

1.2 试验方法

试验于 2008 年在新疆农业大学实验农场进行。试验地为壤土,有机质为 $65.3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效氮为 $70.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。速效磷为 $48.9\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾为 $266.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。4 月 20 日播种行距 40 cm,株距 10 cm,小区面积 15 m^2 ,随机区组排列,3 次重复,保苗 34.5 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$,始花期追施尿素 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,

收稿日期:2009-05-27

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30660081);新疆科技攻关资助项目(200631104)。

第一作者简介:李金霞(1982-),女,硕士,研究方向为作物生理。E-mail:lijinxia3120@163.com。

通讯作者:章建新,教授,博士生导师。E-mail:zjxin401@126.com。

整个生育期浇7次水,8月下旬至9月上旬收获。

1.2.1 叶面积和豆荚面积的测定 在鼓粒中期(8月1日)分别在各小区选取具代表性各基因型大豆6株,自主茎的顶节开始向下至第9节,用游标卡尺逐节位测量各节叶片和豆荚的长度、宽度,用系数法分别测定叶片和豆荚(正反两面)面积^[10]。

1.2.2 光合速率和叶绿素测定 采用LI-6400光合测定仪在鼓粒期(7月16~18日)11:00~14:00时测定叶片、豆荚的光合速率和呼吸速率。分别选取各基因型具代表性5株,测定倒4节的叶片和豆荚的光合速率后,遮光测定叶片和豆荚呼吸,分别计

算其真光合速率(豆荚在鼓粒期间,籽粒呼吸释放大量CO₂,导致测得豆荚的净光合速率为负值,无法比较豆荚的净光合速率)。用测定光合速率和呼吸速率样品,采用丙酮法分别测定叶片和豆荚的叶绿素含量。

2 结果与分析

2.1 不同基因型大豆叶片与豆荚面积的垂直分布

光合面积是构成大豆光合性能的主要因素之一。在大豆鼓粒期间,大豆的叶面积和荚面积等共同组成大豆的光合面积。由表1可见,不同基因型

表1 不同基因型叶片与豆荚的面积
Table 1 Contrast of area of soybean leaves and pods in different genotypes

材料 Material	器官 Organ	主茎节序(自上而下) Node order in stem (from top to bottom)									总和 SUM
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
黑农 38 Heinong 38	叶面积	104.8 ±	114.7 ±	125.3 ±	132.1 ±	126.9 ±	127.4 ±	123.4 ±	96.4 ±	73.3 ±	1024.3 ±
	Leaf area/cm ²	35.4	36.1	24.4	25.2	20.5	43.3	45.4	31.1	25.7	16.3
	荚面积	61.2 ±	40.5 ±	44.0 ±	43.4 ±	37.3 ±	40.9 ±	37.8 ±	31.4 ±	26.5 ±	363.1 ±
	Pod area/cm ²	18.9	9.8	10.2	12.1	9.1	13.2	17.9	8.0	6.1	4.2
	荚面积/叶面积 LA/PA/%	58.83	35.35	35.13	32.82	29.36	32.11	30.66	32.60	36.19	35.44
吉育 63 Jiyu 63	叶面积	89.9 ±	120.7 ±	139.5 ±	155.5 ±	162.8 ±	158.2 ±	151.8 ±	138.3 ±	103.9 ±	1220.6 ±
	Leaf area/cm ²	47.8	36.9	48.6	49.1	25.9	29.6	41.6	47.9	59.3	27.0
	荚面积	25.6 ±	34.9 ±	41.2 ±	33.9 ±	39.9 ±	33.1 ±	37.0 ±	34.7 ±	30.4 ±	310.7 ±
	Pod area/cm ²	18.0	11.1	15.7	14.6	8.8	10.9	16.5	19.2	10.1	7.5
	荚面积/叶面积 LA/PA/%	28.41	28.89	29.56	21.78	24.51	20.94	24.39	21.91	19.14	25.45
吉育 67 Jiyu 67	叶面积	33.1 ±	63.6 ±	88.64 ±	105.6 ±	129.8 ±	133.1 ±	118.8 ±	116.1 ±	110.1 ±	898.8 ±
	Leaf area/cm ²	23.3	25.6	19.3	12.4	9.0	3.7	18.9	20.5	15.9	28.6
	荚面积	13.5 ±	16.8 ±	25.6 ±	19.4 ±	21.6 ±	25.2 ±	23.8 ±	22.8 ±	21.1 ±	189.8 ±
	Pod area/cm ²	9.3	6.2	6.2	6.1	7.3	7.9	8.1	5.5	8.6	6.4
	荚面积/叶面积 LA/PA/%	40.85	26.34	28.85	18.36	16.66	18.95	20.02	19.64	19.16	21.12
哈 91-701 Ha 91-701	叶面积	213.1 ±	218.6 ±	233.9 ±	185.9 ±	164.2 ±	111.1 ±	91.1 ±	80.7 ±	62.4 ±	1361.2 ±
	Leaf area/cm ²	35.9	38.6	46.2	48.4	38.5	16.2	19.5	26.7	17.4	20.7
	荚面积	50.6 ±	28.9 ±	38.6 ±	47.6 ±	47.3 ±	47.2 ±	32.8 ±	19.1 ±	29.2 ±	341.3 ±
	Pod area/cm ²	23.6	7.5	14.3	13.1	14.9	12.0	11.8	9.3	13.7	5.4
	荚面积/叶面积 LA/PA/%	23.72	13.24	16.49	25.58	28.81	42.50	35.98	23.74	46.82	25.07
黑农 41 Heinog 41	叶面积	19.7 ±	44.9 ±	65.9 ±	99.0 ±	105.0 ±	100.8 ±	104.9 ±	105.7 ±	99.3 ±	745.2 ±
	Leaf area/cm ²	4.7	11.7	11.8	19.1	15.8	17.2	16.1	19.7	21.9	13.1
	荚面积	13.9 ±	14.2 ±	12.4 ±	15.9 ±	18.3 ±	17.3 ±	16.6 ±	21.9 ±	17.1 ±	147.8 ±
	Pod area/cm ²	4.2	6.9	5.2	8.8	9.2	4.4	7.4	5.3	5.1	5.5
	荚面积/叶面积 LA/PA/%	71.10	31.69	18.84	16.02	17.45	17.16	15.80	20.74	17.42	19.83
石豆 2 号 Shidou No. 2	叶面积	39.5 ±	60.5 ±	71.3 ±	103.6 ±	123.4 ±	124.3 ±	155.3 ±	158.8 ±	151.5 ±	988.3 ±
	Leaf area/cm ²	15.8	13.3	12.7	13.4	8.8	7.7	24.7	38.1	10.7	19.5
	荚面积	15.9 ±	16.9 ±	20.7 ±	23.2 ±	26.6 ±	24.9 ±	30.7 ±	32.4 ±	31.3 ±	222.5 ±
	Pod area/cm ²	4.5	4.7	4.7	3.2	3.7	4.6	5.5	8.9	1.0	6.4
	荚面积/叶面积 LA/PA/%	40.10	27.89	29.02	22.42	21.56	20.00	19.74	20.37	20.68	22.52

大豆叶面积在主茎各节大多呈现顶部叶面积中等,中部节叶面积最大,下部逐渐减小的趋势;荚面积在主茎上的分布与叶片分布略不同,呈现顶节荚面积最大,第2节荚面积大幅下降后,中、上部节的荚面积保持较平稳的波动,下部节荚面积下降;各节荚面积与叶面积比值的分布与荚面积分布的变化相似。各材料单株叶面积和荚面积存在很大的差异,哈91-701单株叶面积最大(1 361.2 cm²),其次是吉育63 (1 295. 7 cm²),黑农41的单株叶面积最小

(745.2 cm²),其它品种居中;而单株荚面积最大的是黑农38 (363. 1 cm²),其次是哈91-701 (341.3 cm²),黑农41的单株荚面积最小 (147.8 cm²);荚面积占叶面积比例最大的是黑农38 (35.44%),最低的是黑农41 (19.83%)。

2.2 不同基因型叶片与豆荚叶绿素含量

叶绿素是高等植物光合作用中光能吸收和传递的主要色素,在一定范围内与光合速率及光合产量密切相关。由表2可见,大豆鼓粒期叶片中的总叶

表2 不同基因型叶片与豆荚叶绿素含量

材料 Material	器官 Organ	叶绿素 Chlorophyll/mg · g ⁻¹ · Fw			Chl. P/L /%
		Chl. a	Chl. b	Chl. (a + b)	
黑农38 Heinong 38	叶 Leaf	1.241 ± 0.03	0.378 ± 0.01	1.619 ± 0.04	8.20
	荚 Pod	0.099 ± 0.01	0.034 ± 0.01	0.133 ± 0.01	
吉育63 Jiyu 63	叶 Leaf	1.313 ± 0.06	0.379 ± 0.01	1.692 ± 0.07	5.77
	荚 Pod	0.072 ± 0.01	0.025 ± 0.01	0.098 ± 0.01	
吉育67 Jiyu 67	叶 Leaf	0.062 ± 0.03	0.026 ± 0.01	0.088 ± 0.04	6.64
	荚 Pod	0.042 ± 0.01	0.017 ± 0.01	0.059 ± 0.01	
	荚 Pod	0.069 ± 0.01	0.023 ± 0.01	0.092 ± 0.01	
哈91-701 Ha91-701	叶 Leaf	1.138 ± 0.06	0.348 ± 0.02	1.486 ± 0.08	5.67
	荚 Pod	0.063 ± 0.01	0.021 ± 0.01	0.084 ± 0.01	
黑农41 Heinong 41	叶 Leaf	1.196 ± 0.08	0.356 ± 0.02	1.551 ± 0.11	7.81
	荚 Pod	0.092 ± 0.01	0.029 ± 0.00	0.121 ± 0.01	
石豆2号 Shidou No.2	叶 Leaf	1.459 ± 0.08	0.459 ± 0.02	1.918 ± 0.11	7.25
	荚 Pod	0.103 ± 0.01	0.036 ± 0.01	0.139 ± 0.01	

绿素含量明显高于豆荚中的总叶绿素。叶片和豆荚中的叶绿素含量均存在品种间的差异。即石豆2号叶片和豆荚的叶绿素含量最高 (1. 918、139 mg · g⁻¹Fw),吉育67叶片和豆荚的叶绿素含量最低(0.088、0.059 mg · g⁻¹Fw)。各基因型大豆荚

皮中的叶绿素总含量/叶片叶绿素含量的比值变化范围 5.67% ~ 8.20%,黑农38最大,哈91-701最小。

2.3 不同基因型叶片与豆荚光合生理参数

由表3看出,豆荚和叶片同样具有光合能力,不

表3 不同基因型叶片与豆荚光合生理参数

材料 Material	器官 Organ	真光合速率	荚叶光合比	气孔导度	胞间 CO ₂ 浓度	蒸腾速率	气孔限制值 VpdL
		True Pn	P/L	Gs	Ci	Trmmol	
		/μmolCO ₂ · m ⁻² · s ⁻¹	/%	/molH ₂ O · m ⁻² · s ⁻¹	/μmol · mol ⁻¹	/mmol · m ⁻² · s ⁻¹	
黑农38 Heinong 38	叶 Leaf	26.40 ± 1.28	19.73	0.32 ± 0.01	200.50 ± 7.18	9.34 ± 0.32	3.02 ± 0.31
	荚 Pod	5.21 ± 0.53		0.11 ± 0.03	425.67 ± 5.86	1.78 ± 0.34	1.60 ± 0.22
吉育63 Jiyu 63	叶 Leaf	24.09 ± 1.04	20.38	0.28 ± 0.08	192.25 ± 9.94	8.61 ± 0.53	3.49 ± 0.38
	荚 Pod	4.91 ± 0.67		0.12 ± 0.08	424.00 ± 2.66	1.29 ± 1.65	1.34 ± 0.10
吉育67 Jiyu 67	叶 Leaf	20.65 ± 0.89	41.06	0.21 ± 0.02	198.85 ± 9.82	6.73 ± 0.27	4.12 ± 0.13
	荚 Pod	8.48 ± 0.76		0.15 ± 0.02	497.67 ± 9.87	2.84 ± 0.39	1.83 ± 0.32
哈91-701 Ha91-701	叶 Leaf	18.25 ± 1.87	13.32	0.31 ± 0.01	214.00 ± 9.98	9.41 ± 0.53	3.29 ± 0.67
	荚 Pod	2.43 ± 0.62		0.11 ± 0.03	479.00 ± 4.36	2.72 ± 0.51	1.22 ± 0.04
黑农41 Heinong 41	叶 Leaf	12.95 ± 0.61	55.98	0.11 ± 0.05	181.75 ± 9.60	6.59 ± 0.95	4.74 ± 0.55
	荚 Pod	7.25 ± 0.68		0.14 ± 0.01	443.33 ± 9.98	2.54 ± 0.16	1.68 ± 0.09
石豆2号 Shidou No.2	叶 Leaf	10.54 ± 1.29	21.25	0.09 ± 0.04	118.00 ± 5.48	3.06 ± 0.35	4.07 ± 0.43
	荚 Pod	2.24 ± 0.81		0.14 ± 0.03	465.33 ± 9.71	2.10 ± 0.47	1.43 ± 0.06

同大豆叶片间和豆荚间真光合速率差异很大,6 个基因型叶片真光合速率的平均值为 $18.81 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 黑农 38 的最大 ($26.4 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 石豆 2 号的最小 ($10.54 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$); 同期同节位吉育 67 豆荚的真光合速率 ($8.48 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 最大, 石豆 2 号的最小 ($2.24 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。豆荚的真光合速率占同期同节位叶片的 13.32% ~ 55.98%。各材料豆荚的气孔导度值与叶片的相近, 为叶片的 58.18%; 荚的胞间 CO_2 浓度远高于叶片, 平均为叶片的 247.42%。荚的蒸腾速率低于叶片, 为叶片的 30.32%。荚与叶片的气孔限制值差异较少, 平均为叶片的 40.13%。结果表明, 各基因型荚与叶片的光合生理参数有明显差异。在鼓粒中期, 豆荚的真光合速率占同期同节叶片的 13.22% ~ 55.98%, 豆荚光合在产量形成中的作用是不可忽视的。

3 讨论

大豆籽粒的充实物质主要来自鼓粒期间的光合器官的同化产物。光合器官的大小和其光合高值持续时间是决定大豆籽粒充实程度的最主要限制因素。大豆进入鼓粒期后, 叶片的光合速率逐渐下降, 而此时荚仍保持着较强的光合能力^[13]。在鼓粒期间, 荚对籽粒的相对光合贡献仅次于叶片, 为 0.6% ~ 16.6%^[14]。研究结果表明, 高产春大豆在鼓粒期间荚面积为叶片面积的 19.83% ~ 35.44%, 荚壳叶绿素含量为叶片的 4.96% ~ 8.2%, 荚的真光合速率为叶片的 13.32% ~ 55.98%。进一步说明荚光合对籽粒产量的贡献是不可忽视的。在鼓粒期间, 大豆荚中的幼嫩籽粒依靠强烈的呼吸作用产生充足的能量用于快速生长, 并伴随着此过程释放大量的 CO_2 , 这些 CO_2 的部分很可能被荚皮的光合作用过程所吸收而重新固定, 并直接转移到籽粒中去^[15]。可见, 鼓粒期间伴随籽粒生长所释放的大量 CO_2 对发挥荚的光合作用潜力极为有利。从大豆产量构成看, 由于单位面积荚数是大豆产量的重要构成因素之一, 也是进一步提高大豆产量的主攻因素, 增加单位面积的荚数就可以增加大豆产量; 从光合作用与物质生产看, 增加单位面积荚数, 就相应地增加了鼓粒期间大豆光合器官数量和光合面积, 有利于大豆鼓粒期群体总干物质积累量的增加。大豆荚皮的光合速率与叶片一样, 基因型间也存在很大的差异。

因此, 在大豆高产育种上, 在着重改良叶片的光合性能的同时, 兼顾荚的光合性能的改良, 可能会取得更明显的效果; 在大豆栽培上, 如何采取有效的措施, 在鼓粒期建立合理的群体结构, 协调叶片与荚关系, 充分发挥叶片和豆荚的光合潜力对于进一步提高大豆产量是十分重要的。

4 结论

高产春大豆在鼓粒期间荚面积为叶片面积的 19.83% ~ 35.44%, 荚壳叶绿素含量为叶片的 5.67% ~ 8.20%, 荚壳的真光合速率为叶片的 13.32% ~ 55.98%。黑农 38 的荚面积占叶面积百分比值、叶片的真光合速率均最高, 分别为 34.85%、 $26.4 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 荚壳的真光合速率以吉育 67 最高, 为 $8.48 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 石豆 2 号最低, 为 $2.24 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。大豆豆荚的主要光合生理参数基因型之间的差异大。要进一步提高大豆产量, 应重视发挥鼓粒期豆荚的光合潜力对大豆产量形成的贡献。

参考文献

[1] 杜维广, 张桂茹, 满为群, 等. 大豆光合作用与产量关系的研究 [J]. 大豆科学, 1999, 18(2): 154 ~ 159. (Du W G, Zhang G R, Man W Q, et al. Study on relationship between soybean photosynthesis and yield [J]. Soybean Science, 1999, 18(2): 154-159.)
[2] 徐冉, 陈存来, 邵历, 等. 夏大豆叶片光合作用与光强的关系 [J]. 作物学报, 2005, 31(8): 1080-1085. (Xu R, Chen C L, Shao L, et al. Relationship between photosynthetic rate and light intensity in summer soybean [J]. Acta Agronomical Sciences, 2005, 31(8): 1080-1085.)
[3] 王继安, 宁海龙, 罗秋香, 等. 大豆品种间叶绿素含量、RUBP 活性、希尔反应活力及其与产量间的关系 [J]. 东北农业大学学报, 2004, 35(2): 129-134. (Wang J A, Ning H L, et al. Relationship between photosynthetic rate and light intensity in summer soybean [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2004, 35(2): 129-134.)
[4] 栾晓燕, 杜维广, 张桂茹, 等. 大豆豆荚光合作用结构体系的观察 [J]. 电子显微学报, 2003, 22(4): 280-285. (Luan X Y, Du W G, Zhang G R, et al. Observation on photosynthetic structure system of soybean pod [J]. Journal of Chinese Electron Microscopy Society, 2003, 22(4): 280-285.)
[5] 薛丽华, 章建新. 大豆鼓粒期非叶光合器官与粒重的关系 [J]. 大豆科学, 2006, 25(4): 425-428. (Xue L H, Zhang J X. Relationship between noon-leaf photosynthetic organs of soybean and seed weight at pod-filling date [J]. Soybean Sciences, 2006, 25(4): 425-428.)
[6] 张桂茹, 杜维广, 满为群, 等. 高光效大豆品种豆荚解剖学特性

[J]. 大豆科学,2002,21(1):14-17. (Zhang G R, Du W G, Man W Q, et al. Anatomy properties of pod walls of soybean varieties with high Photosynthetic rate[J]. Soybean Sciences,2002,21(1):14-17.)

[7] 张赫然,王学东,崔琳,等. 大豆叶片与豆荚光合作用结构的比较[J]. 东北农业大学学报,2007,38(4):436-440. (Zhang H R, Wang X D, Cui L, et al. Comparison of ultra structure of pods and blades in soybean[J]. Journal of Northeast Agricultural University,2007,38(4):436-440.)

[8] 赵艳丽,于龙凤,李芒雪,等. 大豆叶片和豆荚与衰老相关的某些生理特性比较[J]. 东北农业大学学报,2008,39(1):6-9. (Zhao Y L, Yu L F, Li M X, et al. Physiological characters comparison of decrepitude leaf blade and pod in soybean [J]. Journal of Northeast Agricultural University,2008,39(1):6-9.

[9] 章建新,薛丽华,李金霞. 麦叶丰化控对大豆鼓粒期非叶光合器官与粒重关系的影响[J]. 大豆科学,2008,27(1):74-78. (Zhang J X, Xue L H, Li J X. Chemical control alternates the contribution of non-leaf photosynthetic organs to seed yield in soybean [J]. Soybean Sciences,2008,27(1):74-78.)

[10] 苍晶,王学东,崔琳,等. 大豆豆荚与叶片的光合特性比较[J]. 中国农学通报,2005,21(2):85-87. (Cang J, Wang X D, Cui L, et al. Studies on photosynthetic characters of soybean pods blades

[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2005,21(2):85-87.)

[11] 刘洪梅,李英,卜贵军,等. 大豆豆荚光合物质转运与分配对籽粒发育的影响[J]. 核农学报,2008,22(4):519-523. (Liu H M, Li Y, Pu G J, et al. Effects of photosynthetic transportation and distribution in soybean pods on the development of soybean seeds [J]. Journal of Nuclear Agricultural Science,2008,22(4):519-523.)

[12] 杨阳,苍晶,王学东,等. 大豆豆荚光合特性及其对产量的贡献[J]. 东北农业大学学报,2008,39(12):51-56. (Yang Y, Cang J, Wang X D, et al. Photosynthetic characteristics of soybean pod and its contribution to yield [J]. Journal of Northeast Agricultural University,2008,39(12):51-56.)

[13] 章建新,薛丽华,伊力哈木,等. 大豆始粒期荚遮光对荚、粒物质积累的影响[J]. 干旱区农业研究,2008,26(3):128-132. (Zhang J X, Xue L H, Yi L H M, et al. Effect of pod shading on pod and seed matter accumulation at soybean seed formation stage [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2008,26(3):128-132.)

[14] Bort J, Brown R H, Araus L. Reification of respiratory CO₂ in the ears of C₃ cereals[J]. Journal of Experimental Botany,1996,47:1567-1575.

(上接第 1025 页)

[5] 毛达如. 植物营养研究方法[M]. 北京:北京农业大学出版社,1994:12-26,184-192. (Mao D R. Plant nutrition research methods [M]. Beijing:Beijing Agricultural University Press,1994:12-26,184-192.)

[6] 韩丽梅,王树起,鞠会艳,等. 大豆根系分泌物的鉴定及其化感作用的初步研究[J]. 大豆科学,2000,19(2):119-125. (Han L M, Wang S Q, Ju H Y, et al. Dentifition and study on allelopathy of soybean root exudates [J]. Soybean Science,2000,19(2):119-125.)

[7] 韩丽梅,王树起,肖丽华. 重迎茬大豆根区土壤有机化合物的GC/MS分析[J]. 吉林农业科学,2005,30(4):6-8. (Han L M, Wang S Q, Xiao L H. Analysis of organic compounds in continuous and alternate cropping soils around rhizosphere of soybean by GC-MC [J]. Jilin Agricultural Sciences,2005,30(4):6-8.)

[8] 孔垂华,胡飞. 植物化感(相生相克)作用及其应用[M]. 北京:中国农业出版社,2001:96-99. (Kong C H, Hu F. Allelopathic plants(allelopathy) and its application [M]. Beijing: Agricultural Press,2001:96-99.)

[9] 王立祥. 农作学[M]. 北京:科学出版社,2003:176-210. (Wang L X. Farming system [M]. Beijing: Science Press, 2003: 176-210.)

[10] Rice E L. Allelopathy [M]. (2nd edition), New York: Academic

Press,1984:309-315.

[11] 韩丽梅,王树起,鞠会艳,等. 吸附树脂提取的大豆根系分泌物种类的GC-MS分析[J]. 大豆科学,2003,22(4):301-305. (Han L M, Wang S Q, Ju H Y, et al. GC-MS analysis on the kinds of soybean root exudates extracted with adsorption resin [J]. Soybean Science,2003,22(4):301-305.)

[12] 柴强,冯福学. 玉米根系分泌物的分离鉴定及典型分泌物的化感效应[J]. 甘肃农业大学学报,2007,42(5):43-48. (Chai Q, Feng F X. Identification of root exudation of *Zea mays* L. and allelopathy of 1,2-benzenedicarboxylic acid [J]. Journal of Gansu Agricultural University,2007,42(5):43-48.)

[13] 陈英,柴强. 小麦的根系分泌物及典型分泌物间甲酚的化感作用研究[J]. 兰州大学学报,2005,41(2):26-29. (Chen Y, Chai Q. Research on root exudates of wheat and allelopathic effect of typical exudation 3-niethyl-phenol[J]. Journal of Lanzhou University,2005,41(2):26-29.)

[14] Einhellig F A. Interactions involving allelopathy in cropping systems[J]. Agronomy Journal,1996,88:886-893.

[15] 柴强,黄高宝. 根系分泌物在不同种植模式中的化感效应研究[J]. 甘肃农业大学学报,2004,4(2):163-167. (Chai Q, Huang G B. Allelopathic effects of root exudates in different cropping patterns[J]. Journal of Gansu Agricultural University,2004,4(2):163-167.)