

## 接种根瘤菌对夏大豆籽粒灌浆特性及品质的影响

杨升辉<sup>1</sup>,王素阁<sup>1</sup>,于会勇<sup>2</sup>,张星星<sup>3</sup>,王书平<sup>1</sup>,李洪杰<sup>1</sup>,邱家驹<sup>4</sup>,陈文峰<sup>3</sup>

(1. 山东圣丰种业科技有限公司,山东 嘉祥 272400;2. 濮阳市农业科学院,河南 濮阳 457000;3. 中国农业大学 生物学院,北京 100193;4. 南京农业大学 农学院,江苏 南京 210095)

**摘要:**以鲁黄1号大豆为供试品种,在黄淮海平原地区研究了接种根瘤菌对夏大豆籽粒灌浆特性及品质的影响。结果表明:接种根瘤菌各处理的大豆产量以M5处理最高,M6处理次之,未接种根瘤菌的M1处理产量最低,三者之间达到了显著或极显著差异;蛋白质和油分的含量均以M5处理最高;籽粒终极生长量和累积籽粒重均以M5处理最大,M6处理次之,M1处理最小,且各部分间表现为中部>下部>分枝>上部。相关分析表明:大豆的单株有效荚数和粒数的增加均与大豆生长时期呈显著或极显著相关;大豆单株产量与不同灌浆时期,累积籽粒重与不同生长时期均达到显著或极显著相关。

**关键词:**根瘤菌;大豆;灌浆特性;产量;品质

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

DOI:10.11861/j.issn.1000-9841.2014.04.0534

## Effects of Rhizobial Inoculation on the Grain Filling Characteristics and Quality of Summer Soybean

YANG Sheng-hui<sup>1</sup>, WANG Su-ge<sup>1</sup>, YU Hui-yong<sup>2</sup>, ZHANG Xing-xing<sup>3</sup>, WANG Shu-ping<sup>1</sup>, LI Hong-jie<sup>1</sup>, QIU Jia-xun<sup>4</sup>, CHEN Wen-feng<sup>3</sup>

(1. Shandong Shofine Seed Technology Co., LTD, Jiexiang 272400, China; 2. Puyang Academy of Agricultural Sciences, Puyang 457000, China; 3. College of Biological Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 4. College of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** Soybean cultivar Luhuang 1 was inoculated with rhizobia to study the grain filling characteristics and quality in the plain of Huang-huai-hai area. The results showed that among the different treatments, the M5 treatment had the highest yield, followed by M6 treatment, while the uninoculated treatment M1 had the lowest yield. The variances among these three treatments reached to significant or extremely significant level. Seeds protein and oil content of treatment M5 were the highest. The final weight and accumulated weight of one hundred seeds presented the same trend, treatment M5 was the highest, followed by treatment M6, treatment 1 was the lowest, moreover, they both highest in the middle of the stem, followed by the parts in basal, branch and apical. Relative results also showed that the increase of the number of effective pods and seeds per plant had significant or extremely significant correlation with growth period. In addition, the yield per plant and accumulated weight of seeds per plant had significant or extremely significant positive correlation with the different filling stages and growth phases, respectively.

**Key words:** Rhizobia; Soybean; Filling characteristic; Yield; Quality

根瘤菌是与豆科植物结瘤的共生固氮细菌的总称<sup>[1]</sup>。根瘤菌通过与豆科作物共生将空气中的N<sub>2</sub>转化为植物可吸收利用的NH<sub>4</sub><sup>+</sup>,为豆科植物提供氮素营养,从而提高豆科植物的产量改善其品质<sup>[2-3]</sup>。国内外学者对接种根瘤菌提高豆科植物产量和品质已有大量研究和应用<sup>[4-8]</sup>,但对接种根瘤菌后大豆籽粒灌浆特性的研究甚少。灌浆是籽粒形成的关键过程,主要反映了籽粒的增重,与籽粒充实度、结实率、粒重和品质等密切相关<sup>[9]</sup>,直接影响到大豆生育后期籽粒产量和品质的形成<sup>[10]</sup>。本研究在2012年夏大豆接种根瘤菌的基础上,选用费氏中华根瘤菌S6和慢生大豆根瘤菌NOD,用Logis-

tic方程拟合接种根瘤菌后大豆主茎上、中和下部及分枝4部分间的籽粒灌浆特性,并分析了籽粒灌浆参数与农艺性状和单株产量的关系,以为夏大豆接种高效根瘤菌的推广应用提供理论依据和技术支持。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验区概况

试验于2013年在山东省济宁市嘉祥县圣丰院士工作站(N35°25'、E116°21',海拔40 m)进行。试验地区为温带大陆性季风气候,年平均气温12.8~

收稿日期:2014-01-12

基金项目:“十二五”农村领域国家科技计划(2011BAD11B03-03)。

第一作者简介:杨升辉(1984-),男,在读博士,主要从事作物高产高效栽培理论与实践研究。E-mail:aa378912705@163.com。

通讯作者:陈文峰(1972-),男,副教授,博士生导师,主要从事根瘤菌资源多样性与应用基础研究。E-mail:chenwf@cau.edu.cn。

13.9℃,降水量 648.17 mm。试验地土壤为棕壤土,0~20 cm 耕层土壤有机质 11.30 g·kg<sup>-1</sup>、全氮 0.89 g·kg<sup>-1</sup>、碱解氮 71.84 mg·kg<sup>-1</sup>、速效磷 18.32 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾 69.91 mg·kg<sup>-1</sup>、pH6.9。

## 1.2 试验设计

供试大豆品种为鲁黄 1 号,菌种为费氏中华根瘤菌 S6 和慢生大豆根瘤菌 NOD。试验设 6 个处理(表 1),随机排列,3 次重复,小区面积为 18 m<sup>2</sup>。接

种根瘤菌浓度为:原液 10<sup>8</sup>个·mL<sup>-1</sup>。接种根瘤菌采用双接种方式:①原液拌种(每个小区用菌量 2 mL);②种子播种后,将原液(350 mL)稀释 6 倍(2 100 mL)后的菌液每穴加 1 mL,菌液加到每粒种子周围的土壤内。大豆种植密度为 20 万株·hm<sup>-2</sup>,等行距(50 cm)条播。6 月 21 日播种,生育期间浇水 2 次,铲地 3 次,10 月 2 日收获测产。

表 1 田间试验方案

Table 1 Field experiment design

处理代码 Code	处理 Treatment		
	底肥 Base fertilizer	追肥 Top application	根瘤菌 Rhizobium
M1	0	0	0
M2	0	0	费氏中华根瘤菌 <i>Sinorhizobium fredii</i> inoculation S6
M3	0	0	接种慢生根瘤菌 <i>Bradyrhizobium</i> inoculation NOD
M4	农户传统施肥 Farmer traditional compound fertilizer (225 kg·hm <sup>-2</sup> , N:P:K = 15:15:15)	初花期追施尿素 Nitrogen application in early flowering (150 kg·hm <sup>-2</sup> )	0
M5	农户传统施肥 Farmer traditional compound fertilizer (225 kg·hm <sup>-2</sup> , N:P:K = 15:15:15)	0	费氏中华根瘤菌 <i>Sinorhizobium fredii</i> inoculation S6
M6	农户传统施肥 Farmer traditional compound fertilizer (225 kg·hm <sup>-2</sup> , N:P:K = 15:15:15)	0	接种慢生根瘤菌 <i>Bradyrhizobium</i> inoculation NOD

表中“0”表示未施肥或未接种根瘤菌。

“0” shows no fertilization or normal seed.

## 1.3 测定项目与方法

1.3.1 籽粒灌浆的测定 开花期选择有代表性的植株进行标记,从灌浆开始每隔 6 d,各处理选取大豆 10 株,按大豆主茎株高分成下部 1~5 节(基部节算起,下同)、中部 6~10 节和上部 11~15 节,以及主茎分枝 4 部分<sup>[11]</sup>。各部分分别脱粒混匀后,随机选出 100 粒,再将各部分样品 100 粒在 105℃ 杀青 0.5~1 h,80℃ 烘干至恒重,测定百粒重。

1.3.2 室内考种及单株产量 完熟期每处理连续取样 10 株,3 次重复,测定主茎节数、有效分枝、有效荚数、单株粒数、百粒重和单株粒重。在完熟期取 6 m<sup>2</sup>测产,折算成公顷产量。

1.3.3 品质测定 应用 FOSS 近红外谷物品质分析仪(Infratec TM1241, FOSS)测定大豆籽粒的蛋白质和油分含量。

## 1.4 数据分析

灌浆参数计算方法:采用 Logistic 方程拟合开花后籽粒干重变化规律,Logistic 方程的表达式为: $\hat{y} = a / (1 + b \exp^{-cx})$ , $x$  为开花后天数,开花日计  $x = 0$ , $\hat{y}$  为花后百粒籽粒干重,以下计算均以百粒为单位; $a$  为理论百粒籽粒最大干重; $b$ 、 $c$  为参数。由方

程的一阶导数和二阶导数推导出一系列灌浆参数<sup>[12-14]</sup>。

(1) 灌浆高峰开始日期  $t_1 = [\ln A - \ln(2 + 3^{1/2})] / B$ ; 对应于此时的百粒籽粒干重为  $W_{t_1} = W_0 / (1 + Ae^{-Bt_1})$ 。

(2) 灌浆高峰结束日期  $t_2 = [\ln A + \ln(2 + 3^{1/2})] / B$ ; 对应于此时的百粒籽粒干重为  $W_{t_2} = W_0 / (1 + Ae^{-Bt_2})$ 。

(3) 灌浆结束日期:  $t_3 = [\ln A + 4.59512] / B$ ; 对应于此时的百粒籽粒干重为  $W_{t_3}$ 。

(4) 最大灌浆速率出现日  $T_m = (\ln A) / B$ ; 最大灌浆速率  $V_m = W_0 \times B / 4$ 。

(5) 灌浆渐增期持续时间(天数)  $T_1$ , 即  $T_1 = t_1$ , 平均灌浆速率  $v_1 = W_1 / t_1$ ; 累积籽粒重  $W_1$ ; 灌浆速增期持续时间(天数)  $T_2 = t_2 - t_1$ , 平均灌浆速率  $v_2 = (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)$ ; 累积籽粒重  $W_2 = W_{t_2} - W_{t_1}$ ; 灌浆缓增期持续时间(天数)  $T_3 = t_3 - t_2$ , 平均灌浆速率  $v_3 = (W_3 - W_2) / (t_3 - t_2)$ , 累积籽粒重  $W_3 = W_{t_3} - W_{t_2}$ 。

(6) 灌浆持续总天数  $T$ , 平均灌浆速率  $V_a = W_0 / t_3$ 。

试验数据采用 Excel 2007、CURXPT 和 DPS 7.05 进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 籽粒灌浆过程的 Logistic 方程

以开花后天数 ( $x$ ) 为自变量, 籽粒的百粒重 ( $\hat{y}$ ) 为因变量, 对接种根瘤菌处理下夏大豆主茎上部、中部和下部及分枝 4 部分籽粒的灌浆过程用 Lo-

gistic 方程  $\hat{y} = a/(1 + b\exp^{-cx})$  进行拟合。由表 2 可以看出,  $R^2$  在 0.996 8 ~ 0.999 8, 拟合效果良好。各处理间上、中和下部及分枝的籽粒终极生长量均以 M5 最大, M6 次之, M1 最小, 从平均值来看, M5 分别较 M6、M4、M2、M3、M1 分别高出 1.71%、4.38%、5.59%、6.73% 和 13.23%。且各处理 4 部分之间籽粒终极生长量表现为中部 > 下部 > 分枝 > 上部。

表 2 夏大豆籽粒灌浆过程的 Logistic 方程

Table 2 Logistic equation of grain filling for summer soybean

处理 Treatment	粒位 Grain position	模拟方程 Simulated equation	籽粒终极生长量 The final weight of one hundred kernel/g(100 grain)	决定系数 $R^2$ Coefficient of determination
M1	上部 Apical	$\hat{y} = 21.5475/(1 + 1031.3838\exp^{-0.1757x})$	21.5475	0.9984
	中部 Middle	$\hat{y} = 25.2998/(1 + 1416.1040\exp^{-0.17823x})$	25.2998	0.9974
	下部 Basal	$\hat{y} = 24.0408/(1 + 1136.5556\exp^{-0.1768x})$	24.0408	0.9994
	分枝 Branch	$\hat{y} = 21.6784/(1 + 1040.8698\exp^{-0.1757x})$	21.6784	0.9986
M2	上部 Apical	$\hat{y} = 23.0806/(1 + 774.4045\exp^{-0.1694x})$	23.0806	0.9978
	中部 Middle	$\hat{y} = 27.1303/(1 + 836.3161\exp^{-0.1721x})$	27.1303	0.9970
	下部 Basal	$\hat{y} = 25.7674/(1 + 722.3058\exp^{-0.1675x})$	25.7674	0.9994
	分枝 Branch	$\hat{y} = 23.2813/(1 + 837.4120\exp^{-0.1715x})$	23.2813	0.9984
M3	上部 Apical	$\hat{y} = 22.7471/(1 + 816.3762\exp^{-0.1711x})$	22.7471	0.9972
	中部 Middle	$\hat{y} = 26.8547/(1 + 845.2827\exp^{-0.1719x})$	26.8547	0.9970
	下部 Basal	$\hat{y} = 25.4638/(1 + 737.2190\exp^{-0.1679x})$	25.4638	0.9994
	分枝 Branch	$\hat{y} = 23.1308/(1 + 791.5414\exp^{-0.1697x})$	23.1308	0.9984
M4	上部 Apical	$\hat{y} = 23.3390/(1 + 782.9148\exp^{-0.1705x})$	23.3390	0.9980
	中部 Middle	$\hat{y} = 27.5574/(1 + 788.3674\exp^{-0.1705x})$	27.5574	0.9968
	下部 Basal	$\hat{y} = 26.1244/(1 + 689.8072\exp^{-0.1668x})$	26.1244	0.9996
	分枝 Branch	$\hat{y} = 23.3954/(1 + 924.9945\exp^{-0.1749x})$	23.3954	0.9976
M5	上部 Apical	$\hat{y} = 24.0956/(1 + 682.3409\exp^{-0.1673x})$	24.0956	0.9982
	中部 Middle	$\hat{y} = 29.0018/(1 + 621.3985\exp^{-0.1649x})$	29.0018	0.9982
	下部 Basal	$\hat{y} = 27.1445/(1 + 570.1829\exp^{-0.1616x})$	27.1445	0.9998
	分枝 Branch	$\hat{y} = 24.0026/(1 + 708.6392\exp^{-0.1680x})$	24.5678	0.9986
M6	上部 Apical	$\hat{y} = 24.0026/(1 + 708.6392\exp^{-0.1680x})$	24.0026	0.9986
	中部 Middle	$\hat{y} = 28.1480/(1 + 631.8638\exp^{-0.1654x})$	28.1480	0.9974
	下部 Basal	$\hat{y} = 26.7791/(1 + 595.7985\exp^{-0.1630x})$	26.7791	0.9998
	分枝 Branch	$\hat{y} = 24.1131/(1 + 732.5338\exp^{-0.1686x})$	24.1131	0.9986

### 2.2 籽粒灌浆过程的次级参数

由 Logistic 方程计算出大豆接种根瘤菌后各处理间一系列灌浆次级参数(表 3)。大豆主茎的上、中、下部和分枝灌浆持续期 ( $T$ ) 均以大豆的下部最

大, 从平均值看, 各处理间灌浆持续期以 M5 最大, 为 66.98 d, 分别较 M6、M3、M2、M4 和 M1 高出 0.36%、1.07%、1.12%、1.42% 和 2.20%。受籽粒终极生长量和灌浆持续期的影响, 平均灌浆速率

( $Va$ )的均值以 M5 和 M6 最大, M4 和 M2 次之, M1 最小, 主茎的上、中、下部和分枝均以中部最大, 下部次之, 分枝和上部最小。最大灌浆速率( $Vm$ )的平均值以 M5 最大, M6 和 M4 次之, M1 最小, 且各部分间均以中部最大, 下部次之, 分枝和上部最小。达到  $Vm$  所需的时间  $Tm$  以 M6 最早, M4 次之, 其依次为 M5、M2、M3、M1。各处理间灌浆渐增期累积籽粒重( $W_1$ )、速增期累积籽粒重( $W_2$ )和缓增期累积籽粒重( $W_3$ )的平均值均表现为 M5 最大, M6 次之,

M1 最小, 各部分间均表现为中部 > 下部 > 分枝 > 上部。灌浆渐增期持续时间( $T_1$ )以 M1 最大, M3 次之, M5 和 M6 最小, 速增期持续时间( $T_2$ )和缓增期持续时间( $T_3$ )均以 M5 最大, M6 次之, M1 最小。由灌浆渐增期、速增期和缓增期累积籽粒重与持续时间得出各时期的平均灌浆速率  $V_1$ 、 $V_2$  和  $V_3$ , 从平均值来看, 灌浆渐增期、速增期和缓增期各处理间均以 M5 最大, M1 最小。

表 3 夏大豆籽粒灌浆过程的次级参数

Table 3 The parameters of grain filling for summer soybean

处理 Treatment	粒位 Grain position	$T$ /d	$Tm$ /d	$Va$ /g·d <sup>-1</sup>	$Vm$ /g·d <sup>-1</sup>	$W_1$ /g	$W_2$ /g	$W_3$ /g	$T_1$ /d	$T_2$ /d	$T_3$ /d	$v_1$ /g·d <sup>-1</sup>	$v_2$ /g·d <sup>-1</sup>	$v_3$ /g·d <sup>-1</sup>
M1	上部 Apical	65.64	39.49	0.33	0.95	4.55	12.44	4.34	32.00	14.99	18.66	0.14	0.83	0.23
	中部 Middle	65.01	39.80	0.39	1.15	5.35	14.61	5.09	32.58	14.45	17.98	0.16	1.01	0.28
	下部 Basal	65.79	39.80	0.37	1.06	5.08	13.88	4.84	32.35	14.90	18.54	0.16	0.93	0.26
	分枝 Branch	65.70	39.54	0.33	0.95	4.58	12.52	4.36	32.05	14.99	18.66	0.14	0.83	0.23
	平均 Average	65.54	39.66	0.36	1.03	4.89	13.36	4.66	32.25	14.83	18.46	0.15	0.90	0.25
M2	上部 Apical	66.39	39.27	0.35	0.98	4.88	13.33	4.57	31.49	15.55	19.35	0.15	0.86	0.24
	中部 Middle	65.80	39.10	0.41	1.17	5.73	15.66	5.28	31.45	15.30	19.05	0.18	1.02	0.28
	下部 Basal	66.73	39.30	0.39	1.08	5.45	14.88	5.04	31.44	15.72	19.57	0.17	0.95	0.26
	分枝 Branch	66.04	39.24	0.35	1.00	4.92	13.44	4.63	31.56	15.36	19.11	0.16	0.88	0.24
	平均 Average	66.24	39.23	0.38	1.06	5.25	14.33	4.88	31.49	15.48	19.27	0.17	0.93	0.26
M3	上部 Apical	66.04	39.19	0.34	0.97	4.81	13.13	4.59	31.49	15.39	19.16	0.15	0.85	0.24
	中部 Middle	65.94	39.21	0.41	1.15	5.68	15.50	5.41	31.55	15.32	19.07	0.18	1.01	0.28
	下部 Basal	66.69	39.33	0.38	1.07	5.38	14.70	5.13	31.48	15.69	19.52	0.17	0.94	0.26
	分枝 Branch	66.41	39.33	0.35	0.98	4.89	13.35	4.64	31.57	15.52	19.32	0.15	0.86	0.24
	平均 Average	66.27	39.27	0.37	1.04	5.19	14.17	4.94	31.52	15.48	19.27	0.16	0.92	0.26
M4	上部 Apical	66.03	39.08	0.35	0.99	4.93	13.47	4.69	31.36	15.45	19.23	0.16	0.87	0.24
	中部 Middle	66.07	39.12	0.42	1.17	5.82	15.91	5.53	31.40	15.45	19.23	0.19	1.03	0.29
	下部 Basal	66.74	39.19	0.39	1.09	5.52	15.08	5.24	31.29	15.79	19.65	0.18	0.96	0.27
	分枝 Branch	65.32	39.05	0.36	1.02	4.94	13.51	4.74	31.52	15.06	18.74	0.16	0.90	0.25
	平均 Average	66.04	39.11	0.38	1.07	5.30	14.49	5.05	31.39	15.44	19.21	0.17	0.94	0.26
M5	上部 Apical	66.47	39.00	0.36	1.01	5.09	13.91	4.82	31.13	15.74	19.59	0.16	0.88	0.25
	中部 Middle	66.87	39.01	0.43	1.20	6.13	16.74	5.76	31.02	15.97	19.88	0.20	1.05	0.29
	下部 Basal	67.70	39.27	0.40	1.10	5.74	15.67	5.41	31.12	16.30	20.29	0.18	0.96	0.27
	分枝 Branch	66.87	39.30	0.37	1.02	5.19	14.18	4.87	31.40	15.80	19.67	0.17	0.90	0.25
	平均 Average	66.98	39.15	0.39	1.08	5.54	15.13	5.22	31.17	15.95	19.86	0.18	0.95	0.27
M6	上部 Apical	66.42	39.07	0.36	1.01	5.07	13.86	4.83	31.23	15.68	19.51	0.16	0.88	0.25
	中部 Middle	66.77	38.99	0.42	1.16	5.95	16.25	5.67	31.03	15.92	19.82	0.19	1.02	0.29
	下部 Basal	67.39	39.20	0.40	1.09	5.66	15.46	5.39	31.12	16.16	20.11	0.18	0.96	0.27
	分枝 Branch	66.38	39.13	0.36	1.02	5.10	13.92	4.85	31.31	15.62	19.44	0.16	0.89	0.25
	平均 Average	66.74	39.10	0.39	1.07	5.45	14.87	5.19	31.17	15.85	19.72	0.17	0.94	0.27

### 2.3 农艺性状与籽粒灌浆特性的分析

由表4可见,大豆的单株有效分枝与渐增期和速增期灌浆速率呈显著性相关,与缓增期灌浆速率相关不显著。单株有效荚数和有效粒数均与渐增

期、速增期和缓增期灌浆速率呈显著性相关。其中,单株有效粒数与速增期灌浆速率达到极显著相关。从平均灌浆速率来看,单株有效分枝、有效荚数和有效粒数均与平均灌浆速率呈显著性相关。

表4 夏大豆农艺性状与籽粒灌浆特性的相关分析

Table 4 The correlation analysis of agronomic traits and grain filling characteristics for summer soybean

性状 Traits	灌浆速率 Filling rate			
	渐增期灌浆速率 Early filling stage	速增期灌浆速率 Fast filling stage	缓增期灌浆速率 Late filling stage	平均灌浆速率 Average filling rate
单株有效分枝 Branch per plant	0.9123 *	0.8827 *	0.7503	0.8675 *
单株有效荚数 Pods per plant	0.8505 *	0.8931 *	0.9068 *	0.8703 *
单株有效粒数 Seeds per plant	0.8812 *	0.9232 **	0.8565 *	0.8625 *

\*\*和\*分别表示相关达到1%和5%显著水平。下同。

\*\* and \* show significantly relevant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. The same below.

### 2.4 单株产量与灌浆特性的分析

大豆单株产量与灌浆特性的相关分析表明(表5),大豆单株产量与最大灌浆速率呈显著相关,与

平均灌浆速率、灌浆高峰持续期、渐增期累积籽粒重、速增期累积籽粒重和缓增期累积籽粒重达到极显著相关。

表5 夏大豆单株产量与灌浆特性的相关分析

Table 5 The correlation analysis of yield per plant and grain filling characteristics for summer soybean

项目 Item	最大灌浆速率 Max. filling rate	平均灌浆速率 Average filling rate	灌浆高峰持续期 Max. filling duration	渐增期累积籽粒重 Grain accumulation at early filling stage	速增期累积籽粒重 Grain accumulation at fast filling stage	缓增期累积籽粒重 Grain accumulation at late filling stage	单株产量 Yield per plant
最大灌浆速率 Max. filling rate	1.0000						
平均灌浆速率 Average filling rate	0.9550 **	1.0000					
灌浆高峰持续期 Max. filling duration	0.8477 *	0.9380 **	1.0000				
渐增期累积籽粒重 Grain accumulation at early filling stage	0.9311 **	0.9727 **	0.9816 **	1.0000			
速增期累积籽粒重 Grain accumulation at fast filling stage	0.9345 **	0.9716 **	0.9790 **	0.9999 **	1.0000		
缓增期累积籽粒重 Grain accumulation at late filling stage	0.8892 *	0.9298 **	0.9527 **	0.9728 **	0.9737 **	1.0000	
单株产量 Yield per plant	0.8812 *	0.9408 **	0.9890 **	0.9866 **	0.9856 **	0.9529 **	1.0000

### 2.5 夏大豆产量、蛋白质和油分含量

由表6可见,接种大豆根瘤菌对大豆产量有极显著的影响,各处理的产量以M5最高,M6次之,M1最低,三者之间差异达到了显著或极显著水平。蛋白质含量以M5和M6最高,M4次之,M1最低,

M5和M6显著高于M4,极显著高于M1。油分含量以M5最高,M6次之,M1最低,其中,M5分别较M6、M3、M4、M2和M1高0.61%、0.85%、0.89%、1.22%和1.70%,达到极显著差异水平。

表 6 接种根瘤菌对夏大豆产量、蛋白质和油分的影响  
Table 6 Effects on yield, protein and oil of summer soybean by rhizobium inoculation

处理 Treatment	产量 Yield/kg·hm <sup>2</sup>	蛋白质 Protein/%	油分 Oil/%
M1	2134.40 ± 13.90 eD	45.07 ± 0.01 eD	21.07 ± 0.01 eD
M2	2559.62 ± 21.06 cB	45.23 ± 0.02 dC	21.17 ± 0.02 dC
M3	2467.90 ± 33.76 dC	45.30 ± 0.02 cB	21.25 ± 0.06 cB
M4	2584.63 ± 31.29 cB	45.43 ± 0.01 bA	21.24 ± 0.12 cB
M5	2876.44 ± 12.92 aA	45.47 ± 0.02 aA	21.43 ± 0.01 aA
M6	2834.75 ± 4.25 bA	45.47 ± 0.03 aA	21.30 ± 0.01 bB

不同大、小写字母分别表示差异达 0.05 和 0.01 显著水平。

The different capital and lowercase letters mean significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

### 3 结论与讨论

接种根瘤菌可增加豆科植物产量和改善品质<sup>[2-3,15]</sup>,本研究得出,接种大豆根瘤菌各处理的产量以 M5 处理最高,M6 处理次之,M1 处理最低,三者之间差异达到了显著或极显著水平;蛋白质和油分的含量均以 M5 处理最高。

董明辉<sup>[16]</sup>研究得出,在一定范围内,增施氮肥可促进水稻同一穗不同部位间的颖花分化和籽粒充实度。王永锋<sup>[17]</sup>研究认为,大豆生长后期,由于土壤供肥减少和根系活力衰减,常造成脱肥现象,直接影响大豆开花、授粉和灌浆。本研究中 M4、M5 和 M6 处理的籽粒终级生长量和累积籽粒重高于 M2 和 M3 处理,说明共生固氮是大豆的重要氮源。当土壤内没有充分的可供利用的氮肥时,共生固氮对提高大豆的产量有重要作用,特别有利于其后期籽粒的灌浆和成熟。

武帆<sup>[18]</sup>和白朴<sup>[19]</sup>认为,接种根瘤菌可改善大豆根系发育,提高大豆根结瘤效果。本试验在相同的农户传统施底肥情况下,接种根瘤菌较初花期追施尿素处理的大豆产量和品质均有显著提高。说明接种根瘤菌大豆的固氮能力增强,可为豆科植物提供氮素营养,提高大豆产量,改善品质。

豆科植物对与之共生的根瘤菌有一定的选择性,只有含有特定共生基因的根瘤菌才能与之共生。影响大豆根瘤菌与其寄主共生结瘤的因素有菌株、大豆品种、环境温度、湿度、pH 和竞争等,但菌株和大豆品种的匹配性应是最根本的因素<sup>[20]</sup>。本研究在农户传统施底肥的基础上,接种费氏中华根瘤菌较慢生根瘤菌的处理大豆产量和籽粒油分含量分别较对照高出 1.47% 和 0.61%,二者达到显著差异。说明费氏中华根瘤菌与大豆鲁黄 1 号匹配性

较高,同时结瘤能力和固氮能力较强。

大豆可分为有限结荚、无限结荚和亚有限结荚习性,有限结荚习性类型花芽分化进程和开花期比较集中,器官发生和数量变化相对稳定,而无限结荚习性大豆不同节位花芽分化持续的时期较长,几乎分布于整个生育期间,形态建成过程也较为复杂。考虑到大豆生长习性和根瘤菌与其宿主植物之间的高效匹配性,本研究选择具有有限结荚习性的鲁黄 1 号作为材料进行研究,而有关不同结荚习性大豆接种根瘤菌对的籽粒灌浆特性、品质特性等需进一步精准试验研究。

### 参考文献

- [1] 陈文新,汪恩涛,陈文峰. 根瘤菌-豆科植物共生多样性与地理环境的关系[J]. 中国农业科学,2004,37(1):81-86. (Chen W X, Wang E T, Chen W F. The relationship between the symbiotic promiscuity of rhizobia and legumes and their geographical environments[J]. Scientia Agricultura Sinica,2004,37(1):81-86.)
- [2] 江木兰,张学江,徐巧珍,等. 大豆-根瘤菌的固氮作用[J]. 中国油料作物学报,2003,25(1):50-54. (Jiang M L, Zhang X J, Xu Q Z, et al. Nodulation and nitrogen-fixation in soybean-rhizobium[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2003, 25(1): 50-54.)
- [3] 赵宇枢,段玉玺,王媛媛,等. 辽宁省大豆根瘤菌资源抗逆性及生防潜力研究[J]. 大豆科学,2009,28(1):113-117. (Zhao Y S, Duan Y X, Wang Y Y, et al. Stress resistance and biocontrol potential of soybean rhizobia resources isolated from Liaoning province[J]. Soybean Science,2009,28(1):113-117.)
- [4] 曾昭海,隋新华,胡跃高,等. 紫花苜蓿-根瘤菌高效共生体筛选及田间作用效果[J]. 草业学报,2004,13(5):95-100. (Zeng Z H, Sui X H, Hu Y G, et al. Screening of highly effective *Sinorhizobium meliloti* strains for *Medicago sativa* cultivars and their field inoculation[J]. Acta Prataculturae Sinica,2004,13(5):95-100.)
- [5] 李富宽,翟桂玉,沈益新,等. 施磷和接种根瘤菌对黄河三角洲紫花苜蓿生长及品质的影响[J]. 草业学报,2005,14(3):87-93. (Li F K, Zhai G Y, Shen Y X, et al. Effect of superphosphate

- application and rhizobia inoculation on growth and forage quality of *Medicago sativa* in the Yellow River Delta[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 14(3):87-93. )
- [6] Jose C R, Silva A R, Mariangela H. Molybdenum enriched soybean seeds enhance N accumulation, seed yield, and seed protein content in Brazil[J]. *Field Crops Research*, 2009, 110:219-224.
- [7] 严君, 韩晓增, 王守宇, 等. 不同形态氮对大豆根瘤生长及固氮的影响[J]. *大豆科学*, 2009, 28(4):674-677. ( Yan J, Han X Z, Wang S Y, et al. Effect of different forms nitrogen on nodule growth and nitrogen fixation in soybean (*Glycine max* L. ) [J]. *Soybean Science*, 2009, 28(4):674-677. )
- [8] Dean J M, Mescher M C, de Moraes C M. Plant rhizobia mutualism influences aphid abundance on soybean[J]. *Plant and Soil*, 2009, 323(1):187-196.
- [9] 左清凡, 谢平, 宋宇, 等. 水稻籽粒不同发育时期灌浆速率的遗传及其与环境互作的分析[J]. *中国农业科学*, 2002, 35(5):465-470. ( Zuo Q F, Xie P, Song Y, et al. Analysis of genotype and environment interaction and heredity of filling rate in the different developmental stages of rice grain[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(5):465-470. )
- [10] 冯乃杰, 郑殿峰, 张玉先, 等. 化控种衣剂对大豆籽粒灌浆过程及产量形成的影响[J]. *中国农学通报*, 2005, 21(7):334-337. ( Feng N J, Zheng D F, Zhang Y X, et al. Chemical control seed coating adjusting and controlling filling process of soybean seed and yield building[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(7):334-337. )
- [11] 谢甫缙, 王海英, 王晓光, 等. 特异高产株型大豆-沈豆4号生育规律的研究[J]. *沈阳农业大学学报*, 2001, 32(6):403-406. ( Xie F T, Wang H Y, Wang X G, et al. Dynamics of growth and development of a soybean cultivar with specific plant-type [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2001, 32(6):403-406. )
- [12] 赵洪亮, 马瑞昆, 刘恩财, 等. 不同冬小麦品种籽粒灌浆特性参数对供水的反应[J]. *华北农学报*, 2008, 23(1):75-80. ( Zhao H L, Ma R K, Liu E C, et al. Responses of grain-filling parameters to water supply of different winter wheat cultivars [J]. *Acta Aoriculturae Boreali-Sinica*, 2008, 23(1):75-80. )
- [13] 乔玉辉, 宇振荣, Driessen P M. 冬小麦干物质在各器官中的积累和分配规律研究[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(5):543-546. ( Qiao Y H, Yu Z R, Driessen P M. Quantification of dry matter accumulation and distribution among different organs of winter wheat [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(5):543-546. )
- [14] 冯伟, 郭天财, 李晓, 等. 不同降雨年型下水分处理对大穗型小麦品种籽粒灌浆及产量的影响[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(1):192-199. ( Feng W, Guo T C, Li X, et al. Effects of irrigation on grain filling and yield of large-ear cultivar under different annual precipitation [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(1):192-199. )
- [15] 马中雨, 李俊, 张永芳, 等. 大豆根瘤菌与大豆品种共生匹配性研究[J]. *大豆科学*, 2008, 27(2):221-227. ( Ma Z Y, Li J, Zhang Y F, et al. Symbiotic matching between soybean rhizobium and soybean cultivars [J]. *Soybean Science*, 2008, 27(2):221-227. )
- [16] 董明辉, 桑大志, 王朋, 等. 水稻穗上不同部位籽粒碾米品质的差异[J]. *中国农业科学*, 2005, 38(10):1973-1979. ( Dong M H, Sang D Z, Wang P, et al. Variations in the milling quality of grains at different positions within a rice panicle [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(10):1973-1979. )
- [17] 王永锋, 裴桂英, 张跃进, 等. 不同微生物肥和调节剂在大豆上的施用效果[J]. *安徽农业科学*, 2001, 29(4):509-510. ( Wang Y F, Pei G Y, Zhang Y J, et al. Preliminary report on micro-fertilizer and moderator applied in soybean [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2001, 29(4):509-510. )
- [18] 武帆, 李淑敏, 孟令波. 菌根真菌、根瘤菌对大豆/玉米氮素吸收作用的研究[J]. *东北农业大学*, 2009(6):6-10. ( Wu F, Li S M, Meng L B. Effect of inoculating mycorrhizal and rhizobium on nitrogen uptake in soybean/maize intercropping system [J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2009(6):6-10. )
- [19] 白朴, 马建静. 植物泡囊丛枝菌根及其应用展望[J]. *生态农业研究*, 2000(3):23-25. ( Bai P, Ma J J. The plant arbuscular mycorrhiza and prospects of its application [J]. *ECO-agriculture Research*, 2000(3):23-25. )
- [20] 繆礼鸿, 周俊初, 郑惠芬. 费氏中华根瘤菌内源质粒和大豆品种对菌株竞争结瘤能力及固氮效率的影响[J]. *中国农业科学*, 2002, 35(7):802-808. ( Liao L H, Zhou J C, Zheng H F. The influence of indigenous plasmids and soybean cultivar on the competitiveness for nodules of the strains and nitrogen-fixing effectiveness of *Sinorhizobium fredii* [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(7):802-808. )