

## 施肥对不同来源大豆品种氮素积累分配的影响

王海英, 谢甫绶, 张惠君, 何 萍

(沈阳农业大学农学院, 辽宁 沈阳 110161)

**摘 要:**以来源不同的12个大豆品种为试材,并按来源分成三组,分别为俄亥俄当代品种、辽宁当代品种和辽宁老品种,采用磷酸二铵种肥处理(0, 150, 300 kg·hm<sup>-2</sup>),探讨了施肥对不同来源大豆品种氮素积累分配的影响。俄亥俄当代品种氮素积累速率最大,最大积累速率出现的时间最早。与对照相比,施肥增加了各品种的氮素平均积累速率,施肥使最大积累速率出现的时间提前。提前幅度俄亥俄当代品种最小,辽宁当代品种和辽宁老品种较大。茎、叶片、荚皮及全株的氮素含量以俄亥俄当代品种最高,辽宁当代品种次之,辽宁老品种最低。施肥处理能促进大豆在生育前期对氮素的吸收,增加叶片、茎及全株的氮素含量,增幅以俄亥俄当代品种最大,辽宁当代品种次之,辽宁老品种最小。施肥处理能促进大豆在生育后期有更多的氮素转向荚粒。与对照相比,俄亥俄当代品种在150 kg·hm<sup>-2</sup>施肥量下的氮素含量最高,辽宁当代品种和辽宁老品种在300 kg·hm<sup>-2</sup>施肥量下氮素含量最高。

**关键词:**大豆;施肥;氮素积累分配

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2008)05-0814-05

## Effect of Fertilizer Level on Nitrogen Accumulation and Distribution of Soybean Cultivars from Different Regions

WANG Hai-ying, XIE Fu-ti, ZHANG Hui-jun, HE Ping

(Agronomy College, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, Liaoning, China)

**Abstract:** The experiment was carried out by using twelve soybean cultivars from different regions in 2006. And the cultivars were divided into three groups: Ohio current cultivar (OCC), Liaoning current cultivar (LCC) and Liaoning old cultivar (LOC). Three level of 0, 150 and 300 kg·ha<sup>-1</sup> were applied as starter fertilizer. The effect of fertilizer on nitrogen accumulation and distribution of soybean cultivars from different regions were discussed. OCC had the maximum nitrogen accumulation speed, and their appearance time was the earliest among three group cultivars. Compared with the no fertilizer treatment, fertilizer could increase the average accumulation rate of nitrogen, and the increasing range, OCC was smallest, LCC and LOC were bigger. OCC had the highest nitrogen contents in stem, Leaf, and whole plant, then was LCC, and LOC the lowest. Compared with the no fertilizer treatment, in the early stage, fertilizer could accelerate the nitrogen absorption and increase the nitrogen content of stem, leaf and whole plant, and the increasing range from higher to lower was OCC, LCC and LOC. In the later stage, fertilizer would transfer more nitrogen to and increase the nitrogen content in seed and pod. Compared with the no fertilizer treatment, the nitrogen content of OCC was the highest under the fertilizer level of 150 kg·ha<sup>-1</sup>, and the nitrogen content of LCC and LOC were the highest under the fertilizer level of 300 kg·ha<sup>-1</sup>.

**Key words:** Soybean; Fertilizer; Nitrogen accumulation and distribution

氮是大豆生长发育和产量形成的主要元素,随着大豆产量的提高,对氮素的吸收量增加<sup>[1]</sup>。大豆自身固定的氮,不能满足大豆丰产对氮营养的需求<sup>[2-3]</sup>。在播种前,施用适量的氮素,能促进根瘤的形成和生长,对大豆的生物固氮亦无显著负作

用<sup>[3]</sup>。国内外众多研究结果表明,由于产量水平、品种、土壤肥力的差异,大豆对氮肥的吸收状况也存在差异<sup>[4-6]</sup>。以上研究多是以一个品种或同一地点的品种为研究对象。迄今,针对不同地域品种间的氮素含量及施肥对其影响的研究报道并不多见。研

收稿日期:2008-08-09

基金项目:辽宁省教育厅资助项目(2006T116)

作者简介:王海英(1971-),女,副教授,博士,研究方向大豆栽培生理。E-mail:whyzy2002@yahoo.com.cn。

通讯作者:谢甫绶,教授,博士生导师。E-mail:sns soybean@yahoo.com.cn。

究探讨在不同磷酸二铵施肥水平下,不同来源大豆品种氮素吸收的差异,以期为大豆育种和高产栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

采用结荚习性相同(均为亚有限型),但育成年代和地点不同的代表性大豆品种 12 个。俄亥俄州立大学育成的当代大豆品种 4 个:HS93-4118、OhioFG1、Darby、Kottman;辽宁省当代育成大豆品种 4 个:辽豆 11 号、辽豆 12 号、沈农 94-11、沈豆 4 号;辽宁省 20 年代老品种 4 个:Shingto、Mukden、Harbinsoy、Boone。

1.2 试验设计

试验于 2006 年在沈阳农业大学试验田进行。以磷酸二铵作种肥,设 3 个施肥水平:即 0、150、300 kg·hm<sup>-2</sup>。种植密度为 15 万株·hm<sup>-2</sup>。采用裂区设计,主区为品种,副区为施肥量,每个处理设 3 次重复,行距 0.6m,小区面积为 15 m<sup>2</sup>。土壤基础肥力为有机质 19.52 g·kg<sup>-1</sup>、全氮 0.97 g·kg<sup>-1</sup>、碱解氮 96.60 mg·kg<sup>-1</sup>、速效磷 65.39 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾 116.38 mg·kg<sup>-1</sup>,pH7.50。

1.3 测定内容和方法

出苗后,每隔 21 d 取样一次,每小区取有代表性植株 4 株,即苗期(6 月 2 日,取 40 株)、始花期(6 月 23 日)、盛花期(7 月 14 日)、盛荚期(8 月 4 日)、鼓粒始期(8 月 25 日)、鼓粒末期(9 月 15 日)、成熟期(10 月 2 日,取 10 株),测定地上部分及各器官的干物质重量。养分分析,采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>法消煮样品,凯氏定氮法测定全氮含量。

2 结果与分析

2.1 施肥对氮素积累量的影响

利用氮素含量与干物质重,求得全株的氮素积累量。全株氮素积累量的最高值出现在鼓粒期(表 1)。施肥增加了各品种的氮素积累量。为了进一步探讨不同来源大豆品种氮素积累的差异,根据氮素积累量,用 Logistic 方程进行了动态模拟(见表 2)。结果表明,俄亥俄当代品种积累速率最大,最大积累速率出现的时间最早。可见,俄亥俄当代品种的氮素积累优势十分明显。与对照相比,施肥增加了各品种的氮素平均积累速率,随着施肥量的增加,最大积累速率出现的时间提前。提前幅度,俄亥俄当代品种最小,辽宁当代品种和辽宁老品种较大。

表 1 施肥水平对不同大豆品种氮素积累量的影响

Table 1 Effect of fertilizer level on N accumulation of whole plant of soybean cultivars from different regions/g·plant <sup>-1</sup>								
品 种 Cultivar	施肥量 Fertilizer level/kg·hm <sup>-2</sup>	生育时期 Growth stage						
		苗期 Seedling	初花期 Initial flowering	盛花期 Full blooming	结荚期 Podding	鼓粒期 Grain filling	鼓粒末期 Late grain filling	成熟期 Maturing
俄亥俄当代品种 Current Ohio cultivar	0	0.029	0.113	0.519	0.812	1.398	1.329	1.232
	150	0.041	0.156	0.540	0.813	1.428	1.368	1.286
	300	0.049	0.139	0.688	0.817	1.448	1.339	1.263
辽宁当代品种 Current Liaoning cultivar	0	0.034	0.134	0.478	0.804	1.390	1.402	1.282
	150	0.038	0.142	0.526	0.858	1.398	1.413	1.307
	300	0.041	0.161	0.679	0.942	1.403	1.432	1.315
辽宁老品种 Old Liaoning cultivar	0	0.031	0.111	0.625	0.759	1.363	1.409	1.260
	150	0.038	0.152	0.703	0.852	1.390	1.428	1.318
	300	0.042	0.150	0.723	0.928	1.397	1.436	1.326

2.2 施肥对各器官氮素分配的影响

2.2.1 茎 利用 2006 年定期和考种取样的样品,测定了大豆品种各器官的氮素含量(见表 3)。从表 3 看出,茎的氮素含量,除苗期外俄亥俄当代品种最高,显著高于辽宁当代品种和辽宁老品种( $P=0.02<0.05$ ),盛花期至鼓粒期的差异较大。与对照相比,施肥能增加大豆苗期至花期茎的氮素含量( $P=0.0049<0.01$ ),增幅因品种而异。俄亥俄当代品种增幅最

大,且以 150 kg·hm<sup>-2</sup>施肥量处理的氮素含量最高;辽宁当代品种次之,以 300 kg·hm<sup>-2</sup>施肥量处理的氮素含量最高;辽宁老品种增幅最小,两个施肥处理间无明显差异。生育中后期施肥对茎的氮素含量影响较生育前期小。盛花期至鼓粒初期,俄亥俄当代品种也是 150 kg·hm<sup>-2</sup>施肥量处理的氮素含量最高,300 kg·hm<sup>-2</sup>施肥量处理的氮素含量低于对照;鼓粒期,辽宁当代品种施肥处理茎的氮素含量低于对照。

表2 不同来源大豆品种氮素的积累动态方程及参数

Table 2 The dynamic equations and parameters of nitrogen accumulation of soybean cultivars from different regions

品 种 Cultivar	施肥量 Fertilizer level /kg · hm <sup>-2</sup>	动态方程 Dynamic equation	相关系数 R	平均积累速率 ACR /g · plant <sup>-1</sup> · d <sup>-1</sup>	最大积累速率 MCR /g · plant <sup>-1</sup> · d <sup>-1</sup>	最大积累速率出现时间 AT/d
俄亥俄当代品种 Ohio current cultivar	0	$W = 1.49 / (1 + 55.4e^{-0.075t})$	0.976 **	0.0166	20.0282	53.2
	150	$W = 1.53 / (1 + 38.2e^{-0.070t})$	0.985 **	0.0170	0.0270	51.5
	300	$W = 1.52 / (1 + 36.9e^{-0.073t})$	0.976 **	0.017	0.0277	49.4
辽宁当代品种 Liaoning current cultivar	0	$W = 1.51 / (1 + 38.6e^{-0.064t})$	0.986 **	0.0134	0.0248	56.9
	150	$W = 1.49 / (1 + 35.4e^{-0.066t})$	0.987 **	0.0135	0.0248	54.4
	300	$W = 1.49 / (1 + 29.9e^{-0.067t})$	0.988 **	0.0136	0.0250	50.9
辽宁老品种 Liaoning old cultivar	0	$W = 1.52 / (1 + 38.0e^{-0.063t})$	0.980 **	0.0134	0.0240	57.7
	150	$W = 1.53 / (1 + 28.4e^{-0.061t})$	0.982 **	0.0136	0.0233	54.9
	300	$W = 1.50 / (1 + 28.0e^{-0.066t})$	0.987 **	0.0137	0.0247	50.4

ACR: average accumulation rate; MCR: maximum accumulation rate; AT : appearance time of maximum accumulation rate.

2.2.2 叶 叶片的氮素含量,俄亥俄当代品种最高下降缓慢,辽宁老品种下降速度很快。俄亥俄当代(除苗期外),辽宁当代品种次之,辽宁老品种最低品种在鼓粒期仍维持较高的氮素含量。与对照相比(表3)。在结荚至鼓粒期,当代品种叶片氮素含量比,施肥能增加叶片在生育前期的含氮量,且随施肥

表3 施肥水平对不同大豆品种各器官氮素百分含量的影响

Table 3 Effect of fertilizer level on N content of organs of soybean cultivars from different regions/%

生育时期 Growth stage	器官 Organ	俄亥俄当代品种 Ohio current cultivar			辽宁当代品种 Liaoning current cultivar			辽宁老品种 Liaoning old cultivar		
		0	150	300	0	150	300	0	150	300
苗期 Seedling stage	茎 Stem	2.59	3.41	3.34	2.78	3.06	3.60	2.72	3.07	3.03
	叶片 Leaf	4.42	4.92	5.18	4.54	4.55	4.90	4.62	4.73	4.92
	全株 Whole plant	3.87	4.50	4.64	4.11	4.23	4.53	4.05	4.27	4.41
初花期 Initial flowering stage	茎 Stem	2.36	3.82	2.63	2.17	2.23	2.72	2.12	2.31	2.45
	叶片 Leaf	4.56	4.50	4.59	4.28	4.59	5.03	4.38	4.78	4.73
	全株 Whole plant	3.70	4.01	3.82	3.37	3.66	4.09	3.60	3.83	3.76
盛花期 Full blooming	茎 Stem	2.08	2.31	1.67	1.07	1.15	1.25	1.29	1.25	1.23
	叶片 Leaf	4.05	4.03	4.05	3.80	4.14	3.91	3.78	3.64	3.73
	全株 Whole plant	2.79	2.89	2.70	2.36	2.41	2.38	2.54	2.52	2.48
结荚期 Podding	茎 Stem	1.39	1.46	1.31	0.90	1.10	1.05	1.07	1.01	1.14
	叶片 Leaf	3.81	3.62	3.37	3.11	3.57	3.51	3.07	3.03	3.22
	荚皮 Pod husk	3.69	3.63	3.69	3.36	3.66	3.27	3.29	3.32	3.80
鼓粒期 Grain filling	全株 Whole plant	2.44	2.33	2.17	1.89	2.07	2.02	1.88	1.92	2.16
	茎 Stem	1.06	1.21	0.78	0.82	0.69	0.68	0.47	0.42	0.64
	叶片 Leaf	3.31	3.43	3.22	2.98	2.75	2.65	1.95	2.21	2.47
鼓粒末期 Late grain filling	荚皮 Pod husk	2.18	2.50	2.12	1.63	1.57	1.78	1.13	1.21	1.58
	籽粒 Seed	4.92	5.06	5.11	4.83	5.14	5.23	6.00	5.87	6.07
	全株 Whole plant	2.52	2.59	2.63	2.36	2.38	2.39	2.26	2.27	2.45
成熟期 Maturing	茎 Stem	0.45	0.38	0.37	0.35	0.29	0.33	0.31	0.27	0.26
	叶片 Leaf	1.77	1.84	1.74	1.09	1.09	1.03	0.92	0.97	1.02
	荚皮 Pod husk	1.41	1.10	1.09	0.68	0.67	0.68	0.78	0.69	0.72
	籽粒 Seed	5.12	5.40	5.08	5.23	5.29	5.25	6.06	6.08	6.13
	全株 Whole plant	2.08	2.18	2.05	1.93	2.12	1.96	2.08	2.10	2.12
	茎 Stem	0.29	0.31	0.32	0.24	0.26	0.24	0.27	0.29	0.31
	荚皮 Pod husk	0.86	0.78	0.69	0.67	0.63	0.70	0.61	0.63	0.59
	籽粒 Seed	5.06	5.32	5.25	5.26	5.32	5.27	5.68	5.84	5.68
	全株 Whole plant	2.17	2.26	2.16	1.95	2.02	2.06	2.11	2.13	2.12

量的增加而增加(表3)。俄亥俄当代品种在苗期增幅最大,分别为11.31%、17.19%。盛花期之后,施肥处理的叶片含氮量较对照不再增加,在结荚期,300 kg·hm<sup>-2</sup>施肥量处理的氮素含量低于对照。辽宁当代品种和老品种在初花期增幅大。

2.2.3 荚皮 荚皮的氮素含量俄亥俄当代品种最高,辽宁品种较低,辽宁老品种最低(表3)。鼓粒期俄亥俄当代品种与二者的差异较大。施肥对荚皮氮素含量的影响因品种而不同(表3)。施肥对俄亥俄当代品种和辽宁老品种影响较大。150 kg·hm<sup>-2</sup>施肥量处理增加了俄亥俄当代品种鼓粒初期的氮素含量,鼓粒末期施肥处理的氮素含量最低。300 kg·hm<sup>-2</sup>施肥量处理增加了辽宁老品种在结荚期和鼓粒初期的氮素含量。

2.2.4 籽粒 品种间籽粒的氮素含量(表3),辽宁老品种最高,俄亥俄当代品种和辽宁当代品种较低,鼓粒后期俄亥俄当代品种最低。与对照相比,磷酸二铵能增加籽粒的氮素含量,俄亥俄当代品种增幅最大。以150 kg·hm<sup>-2</sup>施肥量处理的含氮量最高;辽宁当代品种鼓粒初期施肥处理的籽粒氮含量较高,鼓粒末期和成熟期差异不大;辽宁老品种以300 kg·hm<sup>-2</sup>施肥量处理的含氮量高。适量施用磷酸二铵做种肥能促进氮由营养器官向生殖器官转移,150 kg·hm<sup>-2</sup>施肥量利于俄亥俄当代品种的氮素向籽粒转移,利于提高籽粒的氮素含量。

2.2.5 全株 各时期的全株氮素积累量除以该期的生物产量,算得各生育时期的全株氮素含量,见表3。除苗期外,俄亥俄当代品种全株的氮素含量显著高于辽宁当代品种和老品种( $P=0.007<0.01$ ),结荚期的差异最大。此时已转向生殖生长为主的时期,充足的氮素供应可增加荚数,提高粒重,进而提高产量。磷酸二铵能增加全株在苗期至初花期的含氮量( $P=0.003<0.01$ ),俄亥俄当代品种增幅最大,辽宁当代品种次之,辽宁老品种增幅最小。

### 3 结论与讨论

研究表明,俄亥俄当代品种的氮素积累速率最大,最大积累速率出现时间最早。辽宁当代品种和辽宁老品种的积累速率较小、最大积累速率出现时间较晚,在出苗后第57 d左右,与董钻等<sup>[4]</sup>的研究结果相似。而俄亥俄当代品种的氮素积累速率最大,最大积累速率出现在出苗后第53天,比董钻等<sup>[4]</sup>的研究结果早。与对照相比,施肥增加了各品

种的氮素平均积累速率,随着施肥量的增加,最大积累速率出现的时间提前。提前幅度,俄亥俄当代品种最小,辽宁当代品种和辽宁老品种较大。

在鼓粒期,叶片维持较高的氮素含量,有利于叶片光合作用,延缓叶片衰老<sup>[7-8]</sup>。研究表明,叶片的氮素含量以俄亥俄当代品种最高,辽宁当代品种次之,辽宁老品种最低。在结荚至鼓粒期,当代品种叶片氮素含量下降缓慢,辽宁老品种下降速度很快,俄亥俄当代品种在鼓粒期仍维持较高的氮素含量。这可能是当代大豆品种特别是俄亥俄当代品种产量高的主要原因之一。

大豆出苗后期,根瘤固氮能力弱,固氮量少,而此时又伴随着花芽开始分化,充足的氮素供应有利于花芽分化的进行。此时缺氮对花芽分化的影响较大,所以施用一定量的氮素种肥是很有必要的。研究表明,与对照相比,施肥处理能增加大豆茎、叶片及全株在苗期至初花期的氮素含量和荚粒的氮素含量,这与章建新等<sup>[9]</sup>的研究结果,施氮肥在生育前期能促进氮素吸收,增加叶片的氮素浓度、后期使更多的氮素转向生殖器官作用相一致。在苗期至初花期的氮素增幅以俄亥俄当代品种最大,辽宁当代品种次之,辽宁老品种最小。且俄亥俄当代品种在150 kg·hm<sup>-2</sup>施肥量下的氮素含量最高,辽宁当代品种和辽宁老品种是300 kg·hm<sup>-2</sup>施肥量下最高。

甘银波等<sup>[10]</sup>的研究表明,播种前,施用过多的氮肥(N,75 kg·hm<sup>-2</sup>),能增加大豆四片复叶期(V<sub>4</sub>)对氮素的吸收,但显著降低固氮率。研究的结果表明,俄亥俄当代品种在高施肥量处理下,在盛花期之后,茎、叶片的氮素含量低于对照与甘银波等<sup>[10]</sup>的结果相吻合。以磷酸二铵作种肥,增加苗期茎、叶片含氮量的同时,可能对根瘤固氮有影响。施用过多的氮肥,可能抑制了俄亥俄当代大豆品种的固氮作用。

### 参考文献

- [1] 袁立海,张晓,舒权,等. 氮肥增产效应的研究[J]. 大豆科学, 1984,3(3):243-250. (Yuan L H, Zhang X, Shu Q, et al. Yield effect of nitrogen fertilizer on soybeans [J]. Soybean Science, 1984,3(3):243-250.)
- [2] 董钻. 大豆栽培生理[M]. 北京:中国农业出版社,1995:53-71. (Dong Z. Soybean cultivation physiology[M]. Beijing: Agricultural Press,1995:53-71.)
- [3] Marscher H. Mineral nutrition of higher plant [M]. Academic Press, Inc. London, UK, 1986:674.

- [4] 董钻,谢甫缙.大豆氮磷钾吸收动态及模式的研究[J].作物学报,1996,22(1):89-95. (Dong Z, Xie F T. Studies on dynamics and models of N, P, K absorption in soybeans[J]. Acta Agronomica Sinica, 1996, 22(1): 89-95.)
- [5] 戴建军,程岩.黑龙江省南部黑土施氮对大豆氮肥利用率的影响[J].东北农业大学学报,2000,31(2):125-128. (Dai J J, Cheng Y. The effect of nitrogen fertilizer rates on NFUE and NUE of 3 soybean cultivars[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2000, 31(2): 125-128.)
- [6] 徐本生,籍玉尘,杨建堂.夏大豆的干物质积累和氮磷钾吸收分配动态的研究[J].大豆科学,1989,8(1):47-53. (Xu B S, Ji Y C, Yang J T. Studies on the rules of dry matter accumulation and the absorption distribution of Nitrogen, Phosphorus and Potassium for summer soybean[J]. Soybean Science, 1989, 8(1): 47-53.)
- [7] 苗以农,姜艳秋,朱长甫,等.大豆光合生理生态研究第9报大豆不同节位叶片全氮含量的变异性[J].大豆科学,1988,7(2):113-118. (Miao Y N, Jiang, Y Q, Zhu C F, et al. Study on physio-ecology of photosynthesis in soybean 9. The N percentage in soybean leaves at different nodes<sup>[1]</sup>. Soybean Science, 1988, 7(2): 113-118.)
- [8] 冯春生,沈银保,张庆海,等.应用<sup>14</sup>C示踪技术测定大豆光合速率[J].大豆科学,1989,8(4):351-356. (Feng C S, Shen Y B, Zhang Q H, et al. Measuring photosynthetic rate of soybean by applying <sup>14</sup>C tracking technique [J]. Soybean Science, 1989, 8(4): 351-356.)
- [9] 章建新,倪丽,翟云龙.施氮对高产春大豆氮素吸收分配的影响[J].大豆科学,2005,24(1):38-42. (Zhang J X, Ni L, Zhai Y L. Effect on nitrogen fertilizer application to the absorption and distribution of nitrogen in spring soybean [J]. Soybean Science, 2005, 24(1): 38-42.)
- [10] 甘银波,陈静,邱正明.不同阶段施用氮肥对大豆氮吸收及固氮的影响[J].中国油料,1996,18(4):45-48. (Gan Y B, Chen J, Qiu Z M. Effect of N fertilizer application at different growth stages on N uptake and N-fixation of soybeans[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 1996, 18(4): 45-48.)

(上接第813页)

- [2] Riggs R D, Wrathel J A. The American phytopathological society [M] // Biology and management of the soybean cyst nematode. USA, Minnesota: APS Press, 1992: 186.
- [3] 张磊.大豆胞囊线虫概述[J].大豆通报,1993,2(3):37-41. (Zhang L. The summary of soybean cyst nematode[J]. Soybean Bulletin, 1993, 2(3): 37-41.)
- [4] 段玉玺,吴刚.植物线虫病防治[M].北京:中国农业科技出版社,2002. (Duan Y X, Wu G. Plant nematode disease control[M]. Beijing: China Agricultural Science & Technology Press, 2002.)
- [5] Sayre R M, Starr M P. Genus pasteuria metchnikoff [M] // Williams S T, Sharpe M E, Holt J G. Bergeys manual of systematic bacteriology[M]. Baltimore, MD: Williams and Wilkins, 1989.
- [6] Sturhan D, Winkelheide R, Sayre R M, et al. Light and electron microscopical studies of the life cycle and developmental stages of a Pasteuria isolate parasitizing the pea cyst nematode, *Heterodera goettingiana* [J]. Fundamental and Applied Nematology, 1994, 17: 29-42.
- [7] Bishop A H, Ellar D J. Attempts to culture Pasteuria penetrans in vitro[J]. Biocontrol Science and Technology, 1991, 1: 101-114.
- [8] 郭荣君,刘杏忠,杨怀文.应用根际细菌防治植物寄生线虫的研究[J].中国生物防治,1996,12(3):134-137. (Guo R J, Liu X Z, Yang H Y. Bio-effect of different bacterial strains on root rot pathogens plant-parasitic nematodes [J]. Chinese Journal of Biological Control, 1996, 12(3): 134-137.)
- [9] 方中达.植病研究法[M].北京:农业出版社,1979. (Fang Z D. Method of plant pathology [M]. Beijing: Agricultural Press, 1979.)
- [10] 刘维志.植物线虫学研究技术[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1995. (Liu W Z. Method of plant-parasitic nematodes research [M]. Shenyang: Liaoning Science & Technology Press, 1995.)