

# 等离子体种子处理对不同大豆品种镍吸收及器官分配的影响

赵鑫<sup>1</sup>, 梁烜赫<sup>1</sup>, 崔金平<sup>1</sup>, 周雅卓<sup>2</sup>, 胡宇<sup>2</sup>, 周鹏宇<sup>3</sup>, 官长海<sup>3</sup>, 王昱<sup>4</sup>

(1. 吉林省农业科学院农业资源与环境研究所, 长春 130033; 2. 延边大学农学院, 吉林 延吉 133022; 3. 白城市农业机械化技术站, 吉林 白城 137000; 4. 吉林省农业科学院农业经济与信息研究所, 长春 130033)

**摘要:**为查明等离子体种子处理对不同大豆品种镍吸收和生长发育的影响,于2017年在吉林省农业科学院公主岭院区开展盆栽试验。试验用土采集自磐石市镍矿周边的镍污染土壤。播种前,利用等离子体种子处理机对大豆种子进行预处理,处理剂量分别是0、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 A,处理次数为2次。预处理后的种子放置24 h后播种于盆栽桶。结果显示,不同大豆品种对等离子体处理的反应不尽相同。吉育47和吉育71的单株生物量和镍吸收总量与处理剂量之间呈现出有统计学意义的单峰曲线趋势,吉育202和吉育82未观察到相关性。根据回归方程计算,当处理剂量为1.9~2.5 A时,吉育47和吉育71的单株生物量和镍吸收总量达到最大值,比对照提高15.3%~20.1%。从镍元素在大豆体内的分配来看,籽粒中的镍含量为1.8~3.5 mg/株,占大豆总镍吸收量43%~55%,吉育71的镍含量高于高油和常规品种。要素相关性分析表明,等离子体处理主要是通过提高大豆单株生物量,间接提高大豆单株的镍吸收量。这些结果为利用等离子体处理技术定向改造农作物重金属富集能力,促进重金属污染农田的合理开发利用、避免土地资源浪费提供借鉴和参考。

**关键词:**大豆; 等离子体处理; 镍吸收; 生长发育

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2022)03-0037-05

## Effects of Plasma Seed Treatment on Nickel Absorption and Organ Distribution in Different Soybean Varieties

ZHAO Xin<sup>1</sup>, LIANG Xuanhe<sup>1</sup>, CUI Jinping<sup>1</sup>, ZHOU Yazhuo<sup>2</sup>, HU Yu<sup>2</sup>, ZHOU Pengyu<sup>3</sup>, GONG Changhai<sup>3</sup>, WANG Yu<sup>4</sup>

(1. Institute of Agricultural Resource and Environment, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033; 2. Agricultural College of Yanbian University, Yanji 133022; 3. Baicheng Agricultural Mechanization Technology Station, Baicheng 137000; 4. Institute of Agricultural Economy and Information, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China)

**Abstract:** In order to find out the effect of plasma seed treatment on nickel absorption and growth of different soybean varieties, a pot experiment was carried out in Gongzhuling district of Jilin Academy of Agricultural Sciences in 2017. The experimental soil was collected from the nickel contaminated soil around the nickel mines in Panshi city. Before sowing, soybean seeds were pretreated with plasma, and the treatment doses were 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0 A, respectively. The pretreated seeds were placed for 24 hours and sown in pot. The results showed that different soybean varieties had different reaction to plasma treatment. The single plant biomass and total nickel absorption of Jiyu 47 and Jiyu 71 presented a single-peak curve trend with statistical significance with the treatment dose, while no correlation was observed between Jiyu 202 and Jiyu 82. According to the regression equation, when the treatment dose was 1.9–2.5 A, the biomass per plant and total nickel absorption of Jiyu 47 and Jiyu 71 reached the maximum value, which was 15.3%–20.1% higher than the control. From the distribution of nickel in soybean, the content of nickel in seeds was 1.8–3.5 mg/plant, accounting for 43%–55% of the total nickel absorption in soybean, and the content of nickel in soybean variety Jiyu 71 was higher than that in high-oil and conventional varieties.

收稿日期: 2019-12-02

基金项目: 吉林省农业科学院基本科研费项目(KYJF2021ZR009); 吉林省农业科学院创新工程项目(c7208000314); 国家重点研发计划(2017YFD0300605)

作者简介: 赵鑫(1984-),男,助理研究员,博士,主要从事作物生理生态研究。

These results provide a reference for improving the accumulation capacity of heavy metals in crops by plasma treatment, so as to promote the rational development and utilization of heavy metal polluted farmland and avoid the waste of land resources.

**Key words:** Soybean; Plasma treatment; Nickel absorption; Growth and development

重金属镍在土壤中广泛存在,对植物、环境和人体都有显著影响。我国土壤镍含量平均值为29.3 mg/kg,污染临界值为50 mg/kg<sup>[1-2]</sup>。近年来,随着工业污染、汽车尾气、生活废弃物的增加,我国部分地区的农田土壤中的镍、铬、砷等都有显著增加趋势,个别地区已经达到污染水平,严重影响粮食生产安全<sup>[3-6]</sup>。镍也是植物体必需的微量营养元素之一,是脲酶的重要组成成分,在植物体特别是大豆体内的氮代谢过程中起到非常重要的作用<sup>[7-8]</sup>。适量的镍对植物有益,过量的镍会抑制植物根系发育,引起植物生长进程受阻,产生毒害作用<sup>[9-14]</sup>。

大豆是全世界种植最广泛的豆科作物。大豆对土壤中的镉、铬等多种重金属都具有显著的富集作用,是土壤重金属修复效果较好的农作物,通过将富集重金属的大豆植株焚烧产生飞灰,再利用飞灰熔融处理技术,使飞灰达到玻璃化、无害化的效果,并用于生产建筑和路基材料,既修复土壤,又产生效益<sup>[15]</sup>。等离子体种子处理技术

通过激发种子活力,能够提高植物抗逆性,促进植物生长发育。研究表明,等离子体种子处理能够显著提高玉米、大豆等作物的生物量和产量<sup>[16-20]</sup>。但是,等离子体种子处理是否会对作物的重金属吸收产生影响尚未见报道。本研究通过等离子体种子处理,对不同大豆品种进行预处理,然后种植于镍污染的土壤中,以期查明等离子体处理对大豆镍吸收的影响,从而为利用物理方法定向改造农作物重金属富集能力,进而治理或有效利用重金属污染农田提供参考和手段。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

#### 1.1.1 供试土壤

本研究采用盆栽试验进行,试验用土采集自吉林省磐石市镍矿附近的农田。如表1所示,土壤中的镍含量为83.3 mg/kg,超过环境限值,达到污染水平。土壤自然风干混拌均匀后转入盆栽桶,连接滴灌。

表1 供试土壤主要成分

有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	全钾(g/kg)	有效氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	有效钾(mg/kg)	镍含量(mg/kg)	pH
27.13	0.876	0.359	17.439	77.64	18.13	88.76	83.3	1.1

#### 1.1.2 供试作物

供试大豆品种吉育47、吉育82、吉育202和吉育

71均为吉林省中部地区主栽的中熟品种,结荚习性均为亚有限型,品种特性如表2所示。

表2 供试品种特性

供试品种	蛋白含量(%)	脂肪含量(%)	产量(kg/hm <sup>2</sup> )	百粒重(g)	株高(cm)
吉育47	39.48	21.75	3 100	20.0	80~90
吉育82	39.32	22.13	3 094	21.0~22.0	90~100
吉育202	33.29	25.31	2 873	17.2	95
吉育71	41.88	20.14	3 024	24.3	85~95

注:表中数据均为常规大田条件下多年平均值

### 1.2 试验地点

试验在吉林省农业科学院公主岭院区进行。

### 1.3 试验设计

利用等离子体种子处理机对大豆种子进行预处理,放置24 h后播种。等离子体剂量为0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 A,处理2次。对照不做任何预处理。

播种日期为2017年5月10日,每个盆栽桶播种4粒,出苗后保苗2株/桶。全部试验合计28个处理,7次重复,每次重复1桶,总计196桶。

### 1.4 调查项目和方法

为了准确调查大豆营养器官,特别是叶片中的镍含量,在落叶前的生理成熟期(R<sub>7</sub>)即进行收

获,然后按根、茎(包括荚皮)、叶片和籽粒分开后,80℃烘干,称重并粉碎。利用原子吸收分光光度法测定镍含量。

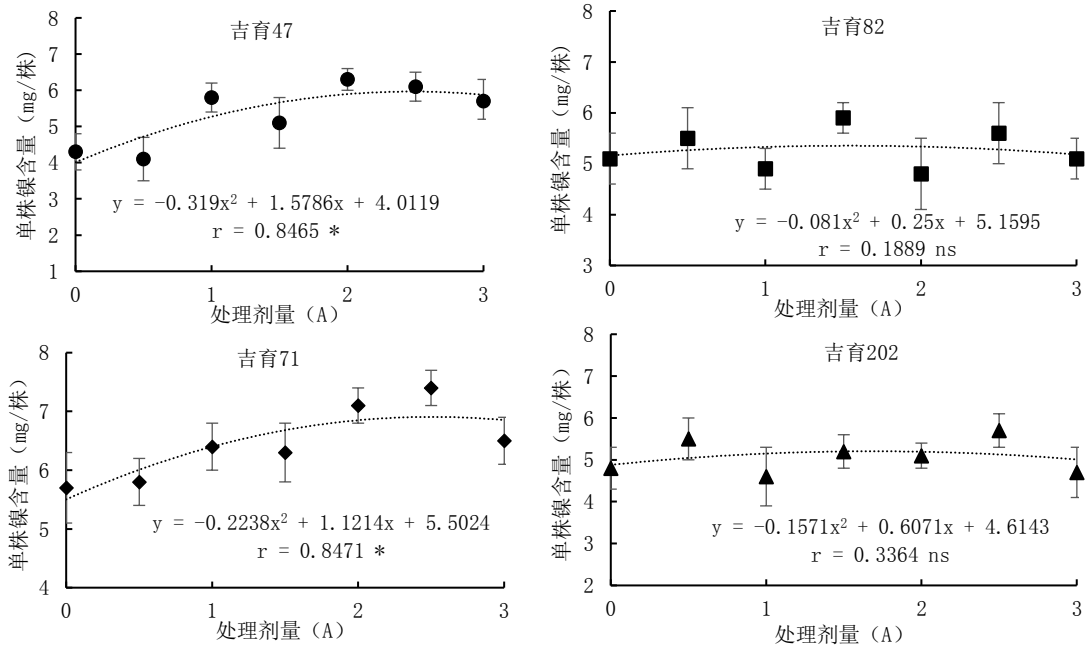
### 1.5 数据处理和分析

采用Excel 2016和SPSS 22对相关数据进行整理和分析。

## 2 结果与分析

由图1可知,吉育82和吉育202的单株镍含量与等离子体种子处理剂量之间没有显示出具有统计学意义的相关性。吉育47和吉育71的单株镍含量则随着等离子体种子处理剂量的增加呈现

出具有统计学意义的单峰曲线趋势。随着等离子体处理剂量的加大,吉育47和吉育71的单株镍吸收量呈先增加后减小的趋势;吉育82和吉育202的单株镍吸收量则基本不受等离子体处理剂量的影响。根据相关回归方程计算可知,当处理剂量达到2.5 A时,吉育47的单株镍吸收量达到理论最大值,为5.96 mg/株;吉育71的单株镍吸收量达到理论最大值,为6.91 mg/株。整体上看,吉育71的单株镍吸收总量高于其他大豆品种10%以上,这可能跟镍元素参与氮代谢,在蛋白质合成过程中具有不可或缺的作用有关,因此蛋白含量较高的大豆品种倾向于吸收更多的镍。



注:图中“\*”和“ns”分别表示0.05水平差异显著和不显著,下同

图1 不同剂量等离子体种子处理对大豆单株镍吸收总量的影响

由图2可知,与图1变化趋势大致相同,吉育47和吉育71与等离子体处理剂量之间呈现出有统计学意义的相关关系,吉育82和吉育202没有。根据相关回归方程计算可知,吉育47的单株生物量在处理剂量达到2.4 A时达到理论最大值,为46.6 g/株;吉育71在处理剂量达1.9 A时单株生物量达到最大值,为44.2 g/株。说明等离子体种子处理确实可以促进大豆生长发育,对不同的品种处理效果不同。

不同大豆品种营养器官和籽粒中的镍含量见表3,在不同等离子体处理剂量的条件下部分显著差异检出( $P < 0.05$ )。当处理剂量高于2.0 A时,吉育71营养器官和籽粒中的镍含量均高于其他大豆品种;吉育47、吉育82以及吉育202之间基本没有差异。籽粒和营养器官中镍含量在1.8~3.5 mg/株和2.3~3.9 mg/株的区间变化,与营养器官中的镍含量大体

相同。各品种在镍的器官分配比例方面基本相同。说明大豆对于镍的吸收是全面均衡的,并不是集中于营养器官或生殖器官,等离子体处理会影响大豆对镍的吸收量,不会改变镍在大豆体内的分配比例。

如表4所示,不同要素间的相关性分析显示等离子体处理剂量与大豆干物重、单株镍含量和籽粒镍含量之间呈显著正相关,与籽粒重没有相关性。干物重与单株镍含量之间呈极显著正相关。大豆品种与干物重、籽粒重、单株镍含量和籽粒镍含量均呈正相关。说明含量等离子体种子处理主要是通过提高大豆干物质积累,而不是通过提高镍含量来提高大豆单株的镍吸收量;大豆品种亦是重要因素,不同大豆品种在等离子体处理条件下的反应并不相同,必须针对特定品种,才会有显著效果。

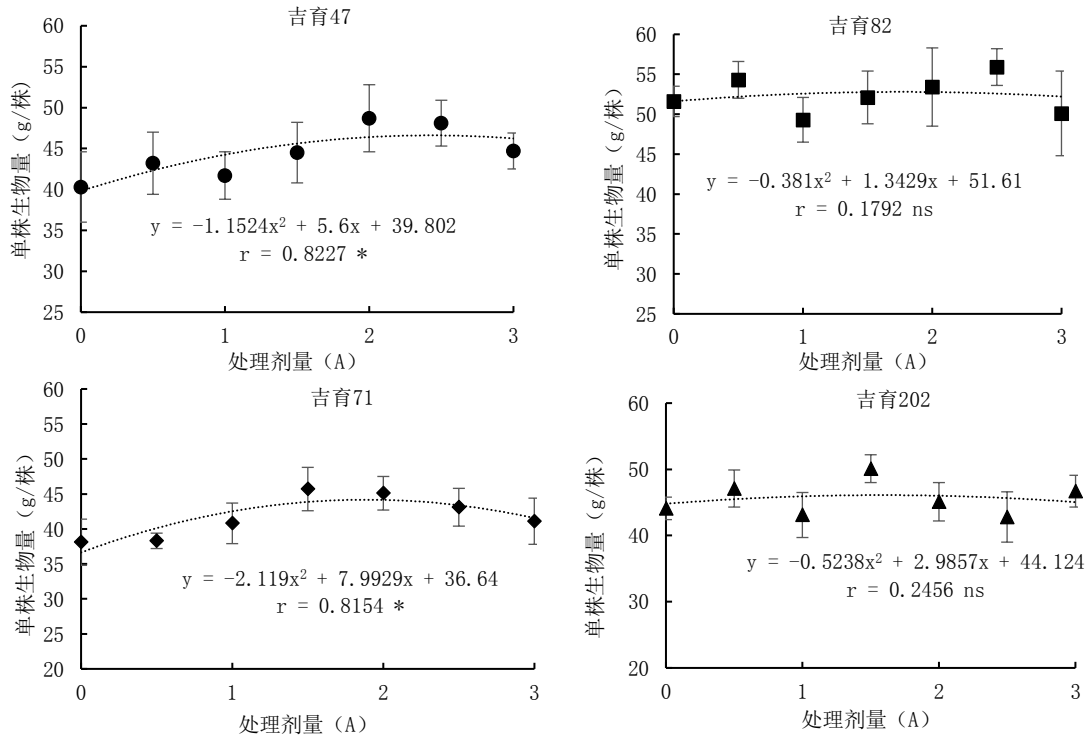


图2 不同等离子体种子处理对大豆单株生物量的影响

表3 不同大豆品种营养器官和籽粒中的镍含量

mg/株

处理剂量 (A)	吉育47		吉育82		吉育202		吉育71	
	营养器官	籽粒	营养器官	籽粒	营养器官	籽粒	营养器官	籽粒
0(CK)	2.4b	1.9bc	2.8b	2.3b	2.4b	2.4ab	3.6ab	2.1b
0.5	2.3b	1.8c	2.4b	3.1a	3.2ab	2.5a	3.1b	2.7b
1.0	3.3a	2.5b	2.5b	2.4b	2.5b	2.1ab	3.3b	3.1ab
1.5	2.8b	2.3b	3.2ab	2.7ab	2.6b	2.6a	3.0b	3.3a
2.0	3.3a	3.0a	2.5b	2.3ab	3.1a	2.1ab	3.7ab	3.4a
2.5	3.0ab	3.1a	2.9ab	2.7ab	3.3a	2.4ab	3.9a	3.5a
3.0	2.8b	2.9ab	3.3a	1.8b	2.8ab	1.9b	3.4ab	3.1ab

注:表中不同小写字母表示0.05水平差异显著

表4 不同要素间的相关性分析

	大豆品种	处理剂量	干物重	籽粒重	单株镍含量	籽粒镍含量
大豆品种	-	-	*	*	*	*
处理剂量		-	*	ns	*	*
干物重			-	ns	**	ns
籽粒重				-	ns	ns
单株镍含量					-	*
籽粒镍含量						-

注:表中“\*”和“\*\*”分别表示0.01和0.05水平正相关,“ns”表示不相关,“-”表示要素间没有相关性分析的意义

### 3 讨论

#### 3.1 等离子体种子处理对大豆镍吸收及生长发育的影响

在等离子体种子处理技术的相关研究方面,多数研究侧重考查等离子体处理技术在提高作物

种子活性,促进生长发育并提高产量方面的效果<sup>[21-25]</sup>,这些研究中处理剂量的范围普遍较窄,无法精确估算最佳处理剂量。在处理模式为1.0 A×2次和1.5 A×2次的条件下,大豆产量可对照增产10%以上,还可提高氮肥利用率25%以上、提高磷肥利用率3%以上、提高钾肥利用率7%以

上<sup>[18]</sup>;等离子体处理可显著提高大豆鼓粒期的叶片光合生理指标,剂量为1.5 A时效果最好,分别可以使光合速率提高34.1%、蒸腾速率提高16.2%、气孔导度提高17.1%<sup>[21]</sup>;等离子体种子处理可明显提高大豆苗期的根系数及开花数和结荚率,最高可使大豆每公顷增产237 kg,增产率达7.9%<sup>[22]</sup>。本研究侧重考查等离子体处理条件下,大豆在污染土壤综合利用方面的作用,因此,更加重视分析等离子体处理对大豆单株生物量及镍吸收总量的影响。通过0~3.0 A较大剂量范围的等离子体处理,在吉育47和吉育71中,得到有统计学意义的生物量与处理剂量、镍吸收量与处理剂量之间的回归方程,通过计算得出1.9~2.4 A的最佳处理范围,并通过要素间的相关分析,得出单株生物量对大豆镍吸收影响最大的结果。这些结果说明等离子体种子处理主要是通过提高大豆单株生物量,而非籽粒中的镍含量,间接地提高大豆镍吸收量。

### 3.2 等离子体种子处理对大豆镍分配的影响及品种间差异

目前,在镍对大豆生长发育的影响方面,多数学者侧重探讨不同浓度镍对大豆生理指标的影响<sup>[7-9]</sup>,在镍污染条件下,大豆体内镍分配及品种间差异方面少有研究。王鹏新<sup>[1]</sup>归纳相关文献,指出镍是大豆体内氮代谢中不可或缺的元素,是脲酶的组成成分之一,在蛋白质合成、氮的运输和利用过程中均发挥重要作用;张治安等<sup>[7]</sup>指出,适量的镍可以延缓大豆离体叶片中的蛋白质和叶绿素的降解速度,提高抗氧化酶活性,从而延缓大豆离体叶片的衰老过程;王启明<sup>[11]</sup>的研究表明,土壤中低浓度的镍,对大豆种子具有激活效应,促进大豆种子萌发,提高大豆种子中各种保护酶的活性,高浓度镍则会抑制大豆生长。

本研究在考查等离子体种子处理对大豆镍吸收影响的同时,也考查了大豆体内镍分配的变化,并分析了品种间差异。与玉米等禾本科作物不同,大豆由于种子中的蛋白质含量较高,因此氮代谢更加复杂和耗能。作为氮代谢中必不可少的镍元素,大豆种子中的分配比例远远高于玉米,达到植株整体镍含量的40%~55%;在等离子体处理条件下,吉育71种子内的镍含量增幅更大,比吉育202高40%以上,比吉育47和吉育82高10%~30%。说明大豆更倾向于将镍元素富集于籽粒中,并且有随籽粒蛋白含量升高而富集加剧的趋势,因此,在镍污染土壤中不宜种植供食

用的大豆。等离子体处理条件下,不同大豆品种的反应亦不容忽视。有些大豆品种,如吉育82和吉育202,无论是单株生物量还是单株镍吸收量,都几乎不受等离子体处理的影响。要素分析的结果也显示在干物重、单株镍吸收量、籽粒镍含量等方面,不同大豆品种间均有显著差异。这些结果说明大豆品种本身的特性,会对等离子体处理后的效果产生显著影响,即并非所有的大豆品种都对等离子体处理敏感,因此,通过品种筛选,得到适于等离子体处理的特异性大豆品种仍然是必要的。

### 参考文献:

- [1] 王鹏新. 土壤和植物中的镍及其相互关系[J]. 农业环境保护, 1993, 12(5): 213-216, 212.
- [2] 王 锐, 于宗灵, 关 畅. 土壤镍污染植物修复的研究概况[J]. 环境科学与管理, 2013, 38(8): 111-114.
- [3] 刘 艳. 重金属镍污染土壤的生态风险评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
- [4] 王丙烁, 黄益宗, 王 农, 等. 镍污染土壤修复技术研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(11): 41-51.
- [5] 杨和连, 游宏建, 岳细云, 等. 新乡市卫河沿岸果菜类蔬菜重金属As、Cr污染分析[J]. 东北农业科学, 2019, 44(2): 49-51, 56.
- [6] 陈毛华, 刘明广, 郭 斌, 等. 阜阳市颍州区城郊菜地重金属污染调查与评价[J]. 东北农业科学, 2016, 41(3): 37-40.
- [7] 张治安, 王振民, 徐克章. 镍对大豆离体叶片衰老的影响[J]. 中国油料作物学报, 2005, 27(2): 46-50.
- [8] 吴诗光. 镍胁迫对大豆种子萌发过程中的生理生化影响[J]. 商丘师范学院学报, 2007, 23(12): 109-112.
- [9] 郑爱珍. 镍对大豆、玉米生长早期膜脂过氧化的影响[J]. 种子, 2007, 26(7): 14-16.
- [10] 刘晓莉. 施用微量元素镍对大豆产量影响[J]. 大豆通报, 2006(3): 29-31.
- [11] 王启明. 镍对大豆种子萌发和膜脂过氧化作用及体内保护酶活性的影响[J]. 种子, 2006, 25(7): 9-12.
- [12] Dalton D A, Evans H J, Hanus F J. Stimulation by nickel of soil microbial urease activity and urease and hydrogenase activities in soybeans grown in a low-nickel soil[J]. Plant & Soil, 1985, 88(2): 245-258.
- [13] Malan H L, Farrant J M. Effects of the metal pollutants cadmium and nickel on soybean seed development[J]. Seed Science Research, 1998, 8(4): 445-453.
- [14] 王海华, 蒋明义, 康 健, 等. 低浓度镍处理下玉米种子的萌发与活性氧代谢的关系[J]. 作物学报, 2003, 29(4): 601-605.
- [15] 马双进, 南忠仁, 臧 飞, 等. 油料作物对重金属污染农田土壤修复的研究进展[J]. 中国农学通报, 2019, 35(36): 80-84.
- [16] 马雪梅, 刘海霞, 朱海英. 大豆应用等离子体处理种子试验总结[J]. 大豆科技, 2011(3): 32-33.
- [17] Jo Y K, Cho J, Tsai T C, et al. A Non-thermal Plasma Seed Treatment Method for Management of a Seedborne Fungal Pathogen on Rice Seed[J]. Crop Science, 2014, 54(2): 796-803.

照增产5.11%，清水大麻和民勤大麻1产量相同，均为43.54 kg/667 m<sup>2</sup>；昆明大麻的纤维产量达到72.63 kg/667 m<sup>2</sup>，比对照增产133.31%，六安大麻比对照增产99.98%，皖大麻、H<sub>3</sub>、巴马火麻分别比对照增产83.91%、73.20%、70.22%；昆明大麻的干茎产量达到352.77 kg/667 m<sup>2</sup>，比对照增产165.56%，六安大麻比对照增产126.51%，巴马火麻、H<sub>3</sub>、红河大麻、张川大麻分别比对照增产97.64%、96.10%、90.52%、87.45%，这几个品种(系)之间差异不显著，但极显著高于除昆明大麻、六安大麻以外的其余品种(系)，皖大麻比对照增产66.25%。

昆明大麻、六安大麻、皖大麻的适应性较强，纤维产量高，表现出明显的优势，适宜在天水市推广种植，巴马火麻的纤维产量较高，为次适宜推广种植品种，其他品种(系)纤维产量较低，不宜在天水市推广种植，特别是内蒙古大麻、H<sub>1</sub>、H<sub>2</sub>的纤维产量极低。

出苗后各个品种(系)株高生长相差不大，4月26日到5月15日，不同品种的生长速度变化开始变大，以清水大麻生长速度最快，达到20.00 cm，昆明大麻生长最慢为8.00 cm；5月15日到6月24日，生长速度加快，以张川大麻生长最快，株高达到235.00 cm，其次为皖大麻，达到220.00 cm，H<sub>1</sub>最低，仅为90.00 cm；6月24日到7月11日，六安大麻、张川大麻和皖大麻生长最快，株高均达到270.00 cm，H<sub>1</sub>最低，仅为160.00 cm；7月11日到9月3日，各品种(系)大麻生长速度放缓，以六安大麻生长最快，株高达到355.00 cm，H<sub>1</sub>最低，仅有

170.00 cm；9月3日到9月28日，除皖大麻、H<sub>2</sub>生长基本停止外，其余品种(系)虽然株高生长放缓，但均在平稳增加，H<sub>1</sub>、H<sub>3</sub>株高生长快于其他品种(系)；皖大麻在7月11日到8月6日，生长速度明显快于其他品种(系)，此后株高基本停止生长，H<sub>1</sub>、H<sub>2</sub>、H<sub>3</sub>生长较慢。

各品种(系)大麻跳甲发生严重，从出苗到成熟均有发生，可用20%杀灭菊酯1500倍液防治，病害发生较轻，大麻霉斑病可用36%甲基硫菌灵悬浮剂500倍液防治<sup>[4]</sup>。由于一些品种内雌雄株性状、成熟时间差异较大，在考察经济产量时，因为有的品种雄株个体间差异太大，没有代表性，无法进行比较，如清水大麻、张川大麻雄麻较雌麻成熟期早30~40 d，过迟收割即成“行麻”，无纺绩价值<sup>[5]</sup>，为了统一比较，主要选择雌株进行分析<sup>[6]</sup>。

#### 参考文献：

- [1] 吕咏梅, 杨 龙, 胡万群. 大麻产业研究进展 I. 大麻产业概述[J]. 中国麻业科学, 2011, 33(6): 307-312.
- [2] 张 雪, 徐立群, 王庆峰, 等. 不同用途亚麻的研究进展[J]. 东北农业科学, 2018, 43(5): 16-20.
- [3] 吴明真. 清水县大麻生产现状及发展建议[J]. 甘肃农业科技, 1998(9): 3-5.
- [4] 王福亮. 黑龙江省主要大麻病害的综合防治[J]. 吉林农业科学, 2009, 34(3): 44-45.
- [5] 张德志. 开拓经济作物注重大麻生产[J]. 中国麻业科学, 1986, 8(3): 38-39.
- [6] 姚青菊, 熊豫宁, 彭 峰, 等. 不同生态类型大麻品种在南京引种的生育表现[J]. 中国麻业科学, 2007, 29(5): 270-275.

(责任编辑:王 昱)

(上接第41页)

- [18] 李学慧, 曹 阳, 胡铁军, 等. 等离子体电磁处理大豆种子生物效应研究[J]. 稀有金属, 2003, 27(5): 655-656.
- [19] 方向前, 边少锋, 付稀厚, 等. 等离子体处理大豆对化肥利用率的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(6): 392-395.
- [20] 马晓萍, 杨光宇, 王 洋, 等. 等离子体处理对大豆生长发育及产量影响的初步研究[J]. 吉林农业科学, 2006, 31(4): 6-7.
- [21] 迟丽华, 管春英, 边少峰, 等. 等离子体对大豆不同生育期叶片光合作用特性的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2005, 27(6): 599-602.
- [22] 石玉海, 方向前, 许东恒, 等. 等离子体不同剂量处理大豆

种子对生物学性状、产量及产值的影响[J]. 东北农业科学, 2010, 35(6): 6-7.

- [23] 许东恒, 石玉海, 方向前, 等. 等离子体不同剂量处理花生种子对生物学性状和产量及产值的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2010(12): 25-27.
- [24] 迟丽华. 等离子体对作物种子生物学效应的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2004.
- [25] 曹 阳, 李学慧, 苏 焱, 等. 等离子体电磁处理对高油大豆中作983性状的影响[J]. 辽宁农业科学, 2007(1): 1-4.

(责任编辑:王 昱)