

锰胁迫对大豆生长和产量的影响

赵云娜, 曲春媛, 金喜军, 栗文霞, 张玉先

(黑龙江八一农垦大学 农学院, 黑龙江 大庆 163319)

摘要:采用沙培的方式,通过控制营养液中锰浓度来设置不同的锰素胁迫处理,研究锰胁迫对大豆生长和产量的影响。结果表明:锰胁迫对苗期大豆株高影响不显著,但明显抑制盛花期至收获期株高;锰胁迫明显抑制盛花期和结荚期大豆茎粗和鼓粒期根长,而在其他时期无显著影响;锰胁迫明显抑制结荚期和鼓粒期大豆叶面积,而在苗期和盛花期无显著影响;除苗期外,锰胁迫明显抑制其他时期根瘤数目、根瘤鲜重、根瘤干重;锰胁迫明显抑制除苗期以外其他时期叶、茎、根、全株干物质积累量,以及鼓粒期和收获期荚果干物质积累量和籽粒产量。综合分析表明,锰胁迫对生育前期大豆生长相关指标影响不显著,却在中后期起明显抑制作用,并最终导致籽粒产量明显下降。

关键词:大豆;锰胁迫;生长;产量

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

DOI:10.11861/j.issn.1000-9841.2014.06.0876

Effect of Manganese Stress on Soybean Growth and Yield

ZHAO Yun-na, QU Chun-yuan, JIN Xi-jun, LI Wen-xia, ZHANG Yu-xian

(College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract: This experiment was conducted by sand culture with controlling different manganese concentration to study the effect of manganese stress on soybean growth and yield. The results showed that: Manganese stress had no significant influence on soybean plant height at seedling stage, but significantly inhibited that at R₂, R₄, R₆ and R₈. Manganese stress significantly inhibited stem diameter at R₂ and R₄ and root length at R₆, and no influence at the other stage. Manganese stress had no significant influence on leaf area at R₄ and R₆, and no influence at V₄ and R₂. Besides seedling stage, manganese stress significantly inhibited nodule number, nodule fresh weight, and nodule dry weight. Manganese stress significantly inhibited dry matter accumulation of leaf, stem, root, and whole plant, and dry matter accumulation of pod at R₆ and R₈, and seed yield. In conclusion, manganese stress had no significant influence on soybean growth at earlier growing stage, but significantly inhibited at the middle-later period, which finally caused seed yield significantly decreased.

Key words: Soybean; Manganese stress; Growth; Yield

锰素是影响作物生长发育的重要微量元素之一^[1-2]。锰存在多种价态(Mn^{2+} 、 Mn^{3+} 、 Mn^{4+}),能够激活多达35种不同的酶,参与作物多种代谢过程,包括蛋白质和脂肪酸的生物合成^[3]、RuBP催化的羧化反应^[4]以及ATP的合成^[5]等,并在光合作用过程中起重要作用。锰还与硝态氮的同化^[6]、淀粉合成等重要生理过程存在密切关系。此外,锰还是Mn-SOD和Mn-Catalase的组成部分^[6],而Mn-SOD和Mn-Catalase对于作物应对逆境胁迫,尤其是对氧化胁迫起重要作用。当出现锰素缺乏时,会导致作物多种代谢途径受到不利影响,生理活性降低,尤其是光合作用速率下降,并严重影响非结构性碳水化合物化合物的产生(尤其是根部碳水化合物),进而引起作物花粉活力降低、鼓粒期间碳水化合物数量减少,最终导致作物产量和品质下降。反之,当作物体内锰素过量时会对作物细胞产生毒害作用^[7],影

响作物对Ca、Mg、K、Fe和Si的吸收^[8]。锰素过多会造成叶绿素a和b的合成受阻,光合速率严重下降^[9],并产生氧化胁迫伤害。实际生产中,由于自然条件如土壤(碱性土壤)、气候条件(干旱)以及管理措施不当等原因,经常导致锰素失衡的现象,影响作物生产发育及产量提高。因此,本文通过沙培培养的方式,设置不同锰素浓度,以明确锰胁迫对大豆生长和产量的影响,旨在为田间锰素调节提供指导。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验采用沙培培养的方式,选用塑料桶直径0.3 m、高0.28 m,桶底钻1 cm直径的孔。江砂在装桶前先用自来水冲洗干净,再用蒸馏水冲洗3遍。

收稿日期:2014-02-02

基金项目:国家自然科学基金(204134008);黑龙江八一农垦大学博士启动基金(XYB2013-03);黑龙江八一农垦大学省作物学重点学科学术骨干科研启动金。

第一作者简介:赵云娜(1988-),女,硕士,主要从事作物栽培生理研究。E-mail:zhaoyunnazyn@126.com。

通讯作者:张玉先(1968-),男,教授,主要从事大豆栽培研究。E-mail:zyx_lxy@126.com。

所有塑料桶均放置在玻璃防雨棚内,并埋于泥土中,桶沿高于地面 5 cm。供试品种为东农 48,每桶保苗 4 株。

播种至真叶展开前每天淋浇 500 mL 蒸馏水,自真叶展开后每天淋浇 500 mL 营养液。并且,在 V1 期进行根瘤菌接种,即将上一年冷冻保存的根瘤研碎后与营养液一同淋浇,浓度为 5 g·L⁻¹,连续淋浇 5 d。营养液的具体成分除 MnCl₂·4H₂O 的浓度外,其他部分参照金喜军等^[10]的方法,MnCl₂·4H₂O 的浓度分别为 0.20(T1),0.98(T2),4.90(T3),24.50(T4)和 122.50(T5)mg·L⁻¹,其中 T3 处理为适宜锰素浓度处理。

1.2 测定项目与方法

分别在大豆苗期(V4)、盛花期(R2)、结荚期(R4)、鼓粒期(R6)、成熟期(R8)取样,进行大豆生长和产量相关指标的测定。

株高、茎粗(用直径表示)、根长采用直尺测量;叶面积采用重量法;根瘤数目采用人工计数法;根瘤鲜重和干重采用称量法;干物质积累采用烘干法。

1.3 数据分析

利用 Excel 2010 和 SPSS 16.0 进行数据整理与

分析。

2 锰胁迫对大豆生长的影响

2.1 锰胁迫对大豆株高、茎粗和根长的影响

如表 1 所示,V4 期各处理株高之间未表现出显著差异,R2 期则表现为 T2 和 T3 处理显著高于 T5 处理($P < 0.05$),T1 和 T4 处理介于二者之间,差异未达到显著水平。在 R4、R6 和 R8 期则表现为 T3、T2 和 T4 处理株高显著高于 T1 和 T5 处理($P < 0.05$),并且以 T3 处理最高。

在 V4、R6 和 R8 期各处理之间茎粗并未表现出显著差异,而在 R2 和 R4 期则表现为 T3 处理显著大于 T5 处理($P < 0.05$),T2 和 T4 处理介于二者之间,差异未达到显著水平。

不同锰浓度处理根长随生育进程的推进表现为逐渐增加的趋势,至鼓粒期达到最大值。在 V4、R2 和 R4 期,各处理根长之间并未表现出显著差异;R8 期,T3 处理显著高于 T5($P < 0.05$),与其他处理之间无显著差异。

表 1 锰胁迫对株高、茎粗、根长的影响

Table 1 Effect of manganese stress levels on plant height,stem diameter and root length

项目 Item	处理 Treatment	V4	R2	R4	R6	R8
株高 Plant height/cm	T1	26.96 ± 1.76 a	48.50 ± 0.77 ab	61.22 ± 3.43 a	66.68 ± 5.95 a	66.21 ± 1.82 a
	T2	25.61 ± 1.38 a	53.56 ± 2.32 c	71.50 ± 2.28 b	72.96 ± 5.286 ab	71.43 ± 3.53 bc
	T3	25.48 ± 1.59 a	53.26 ± 2.87 bc	76.66 ± 3.95 b	78.11 ± 6.11 b	78.55 ± 1.78 d
	T4	26.36 ± 0.46 a	50.13 ± 3.23 abc	73.48 ± 1.48 b	75.94 ± 5.70 ab	74.53 ± 2.72 cd
	T5	25.29 ± 0.28 a	45.55 ± 2.74 a	63.66 ± 2.10 a	67.12 ± 5.21 ab	68.24 ± 3.34 ab
茎粗 Stem diameter/cm	T1	0.18 ± 0.01 a	0.55 ± 0.04 ab	0.62 ± 0.02 ab	0.76 ± 0.06 a	0.69 ± 0.02 a
	T2	0.19 ± 0.02 a	0.55 ± 0.01 ab	0.60 ± 0.04 ab	0.75 ± 0.07 a	0.69 ± 0.05 a
	T3	0.19 ± 0.02 a	0.58 ± 0.02 b	0.63 ± 0.01 b	0.79 ± 0.04 a	0.70 ± 0.05 a
	T4	0.18 ± 0.02 a	0.55 ± 0.02 ab	0.63 ± 0.02 b	0.77 ± 0.05 a	0.68 ± 0.02 a
	T5	0.18 ± 0.01 a	0.53 ± 0.03 a	0.58 ± 0.02 a	0.72 ± 0.05 a	0.67 ± 0.04 a
根长 Root length/cm	T1	33.10 ± 2.53 a	38.79 ± 2.39 a	41.68 ± 3.27 a	43.16 ± 3.25 ab	—
	T2	32.31 ± 3.12 a	38.17 ± 3.90 a	42.67 ± 4.99 a	44.91 ± 3.91 ab	—
	T3	32.31 ± 2.58 a	38.35 ± 3.41 a	45.65 ± 2.86 a	48.18 ± 4.24 b	—
	T4	31.07 ± 2.76 a	38.71 ± 3.74 a	42.52 ± 1.33 a	43.57 ± 4.63 ab	—
	T5	34.30 ± 2.73 a	36.34 ± 2.92 a	41.69 ± 5.80 a	40.08 ± 3.17 a	—

表中数值为“平均值 ± 标准误”,同列数值后不同小写字母代表 5% 水平差异显著。下同。

Values in the table are “means ± standard error”; Values in the same line followed by different lowercase letters are significantly different at 5%. The same below.

2.2 锰胁迫对大豆叶面积的影响

如表2所示,在V4和R2期,各处理之间叶面积虽然存在差异,但并未达到显著差异水平。在R4期,各处理大豆叶面积大小顺序是T3>T4>T2>

T1>T5,并且T3显著大于T1和T5处理($P<0.05$),与T4和T2处理未达到显著差异。R6期仍以T3处理最大,显著高于除T2处理以外的其他处理($P<0.05$)。

表2 锰胁迫对叶面积的影响

Table 2 Effect of manganese stress on leaf area (cm²)

处理 Treatment	V4	R2	R4	R6
T1	260.87 ± 20.89 a	803.60 ± 61.53 a	1156.69 ± 87.21 a	1215.87 ± 69.67 a
T2	264.25 ± 37.67 a	944.07 ± 91.41 a	1290.42 ± 115.79 ab	1438.76 ± 98.17 bc
T3	229.00 ± 16.79 a	961.78 ± 76.92 a	1440.85 ± 71.87 b	1540.25 ± 86.96 c
T4	248.13 ± 46.33 a	870.91 ± 77.41 a	1296.34 ± 85.11 ab	1306.34 ± 31.35 ab
T5	218.36 ± 9.42 a	711.22 ± 56.59 a	1130.01 ± 74.43 a	1290.37 ± 98.77 ab

2.3 锰胁迫对大豆根瘤的影响

在V4期,T3处理单株根瘤数目均大于其他处理,但未达到显著水平。在R2和R4期则表现为T3处理显著大于其他4个处理($P<0.05$)。至R6期,T5处理显著低于其他4个处理($P<0.05$),其余4个处理之间无显著差异。

各处理根瘤鲜重在R4期达到最大值,于R6期有所下降。比较各处理根瘤鲜重可知,V4期以T1

处理最大,显著高于T5处理($P<0.05$),其他处理介于二者之间。在R2、R4、R6期大体表现为T3处理显著高于其他4个处理($P<0.05$),T1和T5处理较低。

各处理根瘤干重大小与根瘤鲜重相似,除V4期以外,其他时期总体表现为T3处理显著高于其他4个处理,T1和T5处理较低。

表3 锰胁迫对根瘤的影响

Table 3 Effect of manganese stress on nodule

单株性状 Traits per plant	处理 Treatment	V4	R2	R4	R6
根瘤数目 Nodule number	T1	45.63 ± 3.94 a	50.94 ± 5.97 ab	167.50 ± 9.16 ab	154.38 ± 14.51 b
	T2	47.07 ± 6.73 a	53.79 ± 3.12 b	177.44 ± 14.43 b	168.06 ± 13.03 b
	T3	50.75 ± 5.78 a	63.58 ± 2.80 c	211.81 ± 2.85 c	176.56 ± 11.73 b
	T4	48.88 ± 6.08 a	50.10 ± 2.57 ab	172.69 ± 18.19 b	161.94 ± 11.41 b
	T5	47.09 ± 3.76 a	45.75 ± 4.23 a	148.19 ± 12.40 a	123.82 ± 10.88 a
根瘤鲜重 Nodule fresh weight/g	T1	0.58 ± 0.04 b	0.66 ± 0.05 a	2.82 ± 0.20 ab	2.58 ± 0.13 a
	T2	0.53 ± 0.04 ab	0.69 ± 0.04 a	3.21 ± 0.28 b	3.24 ± 0.22 b
	T3	0.54 ± 0.02 ab	0.95 ± 0.07 c	4.92 ± 0.20 c	4.40 ± 0.24 c
	T4	0.53 ± 0.04 ab	0.81 ± 0.06 b	2.91 ± 0.17 b	2.83 ± 0.30 ab
	T5	0.49 ± 0.03 a	0.68 ± 0.06 a	2.48 ± 0.15 a	2.41 ± 0.15 a
根瘤干重 Nodule dry weight/g	T1	0.11 ± 0.01 b	0.16 ± 0.01 a	0.26 ± 0.02 a	0.24 ± 0.02 ab
	T2	0.09 ± 0.01 ab	0.17 ± 0.02 a	0.30 ± 0.04 ab	0.29 ± 0.02 b
	T3	0.11 ± 0.01 b	0.25 ± 0.02 c	0.47 ± 0.05 c	0.41 ± 0.03 c
	T4	0.11 ± 0.01 b	0.21 ± 0.02 b	0.33 ± 0.03 b	0.37 ± 0.03 c
	T5	0.08 ± 0.01 a	0.17 ± 0.02 a	0.25 ± 0.03 a	0.23 ± 0.01 a

2.4 锰胁迫对大豆干物质积累和产量的影响

2.4.1 干物质积累 如表4所示,V4期各处理叶片干物质积累未表现出显著差异,盛花期表现为T2

和T3处理显著高于其他3个处理($P<0.05$)。而在R4和R6期则大体表现为T3处理最大,且显著高于T1和T5处理($P<0.05$)。R8期,T3处理仍

表现为显著高于除 T2 处理以外的其他 3 各处理($P < 0.05$), T1 和 T5 处理较低。

各处理茎部干物质积累在 V4 期, T1、T2 和 T3 处理显著高于 T5 处理($P < 0.05$), 而与 T4 处理未达到显著水平。而在 R2、R4 和 R6 期, 大体上表现为 T3 处理显著高于其他处理($P < 0.05$), T1 和 T5 处理较低。但在 R8 期, 各处理之间无显著差异。

各处理根部干物质积累均在鼓粒期达到最大值, 收获期有所下降。并且, 就整个生育进程来看, T3 处理根部干物质积累量最高, 显著高于 T1 和 T5 处理($P < 0.05$), 而 T1 和 T5 处理一直表现出相对较低水平。

各处理荚果干物质积累来看, R4 期表现为 T2 处理最高, 且显著高于除 T1 处理以外的其他 3 个处理($P < 0.05$)。而在 R6 和 R8 期, T3 处理显著高于其他处理($P < 0.05$)。

各处理全株干物质积累量随生育进程逐渐增加, 并于收获期达到最大值。V4 期表现为 T1 处理最高, 显著高于 T2 和 T5 处理($P < 0.05$), 而 T3 和 T4 处理介于二者之间, 未达到显著差异水平。自 R2 至 R8 期, T3 处理显著高于 T1 和 T5 处理($P < 0.05$), T2 和 T4 处理介于二者之间。

表 4 锰胁迫对干物质积累的影响

Table 4 Effect of manganese stress on dry matter accumulation(g)

单株性状 Traits per plant	处理 Treatment	V4	R2	R4	R6	R8
叶 Leaf	T1	1.64 ± 0.09 a	4.99 ± 0.19 b	7.18 ± 0.57 ab	7.26 ± 0.13 a	6.95 ± 0.47 a
	T2	1.42 ± 0.02 a	5.86 ± 0.10 d	8.02 ± 0.42 bc	8.94 ± 1.09 bc	7.63 ± 0.42 ab
	T3	1.50 ± 0.11 a	5.97 ± 0.18 d	8.95 ± 0.53 c	9.57 ± 0.31 c	8.02 ± 0.36 b
	T4	1.61 ± 0.22 a	5.41 ± 0.15 c	8.05 ± 0.25 bc	8.12 ± 0.80 ab	6.87 ± 0.40 a
	T5	1.42 ± 0.07 a	4.42 ± 0.29 a	7.02 ± 0.64 a	7.11 ± 0.17 ab	6.92 ± 0.39 a
茎 Stem	T1	0.57 ± 0.03 b	2.66 ± 0.05 bc	3.97 ± 0.33 a	4.54 ± 0.24 a	4.18 ± 0.40 a
	T2	0.51 ± 0.05 b	2.81 ± 0.10 cd	4.51 ± 0.26 a	5.76 ± 0.62 a	4.72 ± 0.37 a
	T3	0.55 ± 0.04 b	2.91 ± 0.11 d	5.31 ± 0.41 b	6.10 ± 0.19 b	5.04 ± 0.16 a
	T4	0.49 ± 0.02 ab	2.45 ± 0.13 ab	4.53 ± 0.17 a	5.07 ± 0.27 a	4.15 ± 0.34 a
	T5	0.48 ± 0.02 a	2.24 ± 0.18 a	4.27 ± 0.40 a	4.87 ± 0.10 a	4.11 ± 0.41 a
根 Root	T1	0.72 ± 0.02 b	1.49 ± 0.11 a	1.78 ± 0.16 b	2.02 ± 0.18 a	1.69 ± 0.15 a
	T2	0.54 ± 0.03 a	1.72 ± 0.12 b	1.91 ± 0.17 b	2.37 ± 0.14 b	1.62 ± 0.09 ab
	T3	0.68 ± 0.03 b	1.84 ± 0.03 b	2.20 ± 0.01 c	2.49 ± 0.11 b	1.81 ± 0.168 b
	T4	0.56 ± 0.07 a	1.74 ± 0.11 b	2.05 ± 0.20 bc	2.24 ± 0.18 ab	1.70 ± 0.14 ab
	T5	0.58 ± 0.08 a	1.36 ± 0.10 a	1.50 ± 0.09 a	2.05 ± 0.15 a	1.78 ± 0.12 ab
荚果 Pod	T1	—	—	3.80 ± 0.29 bc	7.11 ± 0.70 a	8.53 ± 1.24 a
	T2	—	—	4.08 ± 0.19 c	7.84 ± 0.41 b	12.86 ± 0.87 b
	T3	—	—	3.32 ± 0.17 ab	9.76 ± 0.15 c	15.81 ± 0.84 c
	T4	—	—	3.42 ± 0.40 ab	7.54 ± 0.30 ab	12.34 ± 0.48 b
	T5	—	—	3.27 ± 0.13 a	7.34 ± 0.53 ab	8.81 ± 1.26 a
全株 Whole plant	T1	2.93 ± 0.14 b	9.14 ± 0.79 b	16.73 ± 1.35 ab	20.93 ± 1.36 a	21.35 ± 3.90 a
	T2	2.47 ± 0.10 a	10.39 ± 0.32 cd	18.51 ± 1.04 bc	24.90 ± 2.53 bc	26.83 ± 3.62 b
	T3	2.74 ± 0.18 ab	10.73 ± 0.32 d	19.77 ± 1.12 c	27.91 ± 1.48 c	30.68 ± 3.38 c
	T4	2.66 ± 0.31 ab	9.60 ± 0.46 bc	18.11 ± 1.02 abc	22.96 ± 2.20 ab	25.06 ± 2.10 b
	T5	2.48 ± 0.17 a	8.02 ± 0.57 a	16.05 ± 1.27 a	21.37 ± 0.95 ab	21.63 ± 4.04 a

2.4.2 产量 如图 1 所示, T3 处理籽粒产量最高, 显著高于其他 4 个处理($P < 0.05$), 其次为 T2 和 T4 处理, 显著高于 T1 和 T5 处理($P < 0.05$), T1 和 T5 处理籽粒产量最低。

- (6):23-25.)
- [8] 张怀玉. 安徽省五河县棉蝗危害严重[J]. 植物保护, 1990(5): 51. (Zhang H Y. The harm of *Chondracris rosea rosea* is serious in Wu He, Anhui province. [J]. Plant Protection, 1990(5): 51.)
- [9] 张怀玉, 张贤光, 李强. 棉蝗的发生规律及防治技术[J]. 昆虫知识, 1993, 30(1): 12-14. (Zhang H Y, Zhang X G, Li Q. The occurrence regularity and control technology about *Chondracris rosea rosea* [J]. Entomological Knowledge, 1993, 30(1): 12-14.)
- [10] 史树森, 崔娟, 齐灵子, 等. 大造桥虫幼虫生长发育及其取食规律的初步研究[J]. 大豆科学, 2012, 31(6): 972-975. (Shi S S, Cui J, Qi L Z, et al. Preliminary study on growth and feeding amount of *Ascotis selenaria* Larva [J]. Soybean Science, 2012, 31(6): 972-975.)
- [11] 唐启义, 冯明光. 使用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 51-53. (Tang Q Y, Feng M G. DPS^R data processing system for practical statistics [M]. Beijing: Science Press, 2002: 51-53.)
- [12] 陈芝卿, 林允洞, 李珍华. 棉蝗的初步研究[J]. 动物学研究,

1982(S2): 209-218. (Chen Z Q, Lin Y D, Li Z H. A preliminary study on the cotton locust [J]. Zoological Research, 1982(S2): 209-218.)

- [13] 高乾魁, 刘凤英. 大豆食叶性害虫食叶量的初步研究[J]. 中国植保导刊, 1988(1): 34-36. (Gao Q K, Liu F Y. A primary study on leaf consumption of soybean leaf-feeding insects [J]. China Plant Protection, 1988(1): 34-36.)
- [14] 张建强, 姚艳. 青尺蠖生长发育特性及为害损失测定[J]. 蚕学通讯, 1997, 17(2): 13-17. (Zhang J Q, Yao Y. Growth and development of mugwort looper (*Ascotis selenaria*) and determination of the losses caused by it [J]. Newsletter of Sericultural Science, 1997, 17(2): 13-17.)
- [15] 罗礼智, 刘大海, 张蕾. 草地螟幼虫取食量、头宽、体长及体重的测定[J]. 2008, 34(6): 32-36. (Luo L Z, Liu D H, Zhang L. Determination of food consumption, head width, body length, and body weight of the larvae of the meadow moth, *Loxostege sticticalis* [J]. Plant Protection, 2008, 34(6): 32-36.)

(上接第 860 页)

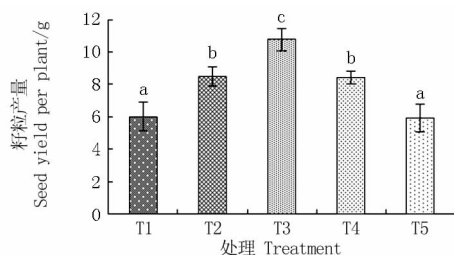


图1 锰胁迫对大籽粒豆产量的影响

Fig. 1 Effect of manganese stress on seed yield

3 结论与讨论

农业生产中, 土壤 pH 过高、土壤质地过于疏松、干旱等都会造成土壤中作物可利用锰素的数量减少, 造成锰素亏缺, 而酸性土壤和不合理的农业管理措施往往导致土壤溶液中锰浓度过高, 势必会对作物生长发育和产量产生影响^[11]。本研究采用沙培培养的方式, 通过控制营养液中锰浓度来设置不同的锰素胁迫处理, 进而在可控的条件下研究锰素胁迫对大豆生长和产量的影响。结果表明: 锰素浓度过高或过低对苗期大豆生长相关指标并未表现出显著影响, 而对中后期株高、根长、叶面积、根瘤相关指标以及干物质积累起明显抑制作用。可见, 大豆种子中存在的锰在一定程度上可以满足苗期大豆生长发育的需要, 因而锰素缺乏并未造成明显抑制作用, 而长时间的锰素缺乏必然影响生育中后期大豆生长。短时间内一定范围的锰素过量不会对大豆幼苗生长产生明显抑制作用, 但长时间的积累必然产生明显毒害作用。而张玉先等^[12]研究指出, 锰素缺乏或过量均会对大豆幼苗建成产生不利影响, 与本文结论有所不同, 可能是由于试验设置的锰素浓度范围不同所致。

参考文献

- [1] Millaleo R, Reyes-Diaz M, Ivanov A G, et al. Manganese as essential and toxic element for plants: Transport, accumulation and re-

sistance mechanisms[J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2010, 10(4): 476-494.

- [2] Sayed R M, Mahmood S, Maryam R. A general overview on manganese(Mn) importance for crops production[J]. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2011, 5(9): 1799-1803.
- [3] Ness P J, Woolhouse H W. RNA synthesis in Phaseolus chloroplasts. I. Ribonucleic acid synthesis and senescing leaves[J]. Journal of Experimental Botany, 1980, 31: 223-233.
- [4] Houtz R L, Nable R O, Cheniae G M. Evidence for effects on the *in vivo* activity of ribulose-biphosphate carboxylase/oxygenase during development of Mn toxicity in tobacco[J]. Plant Physiology, 1988, 86: 1143-1149.
- [5] Pfeffer P E, Tu S, Gerasimowicz W V, et al. *In vivo* 31P NMR studies of corn root tissue and its uptake of toxic metals[J]. Plant Physiology, 2001, 80: 77-84.
- [6] Ducic T, Polle A. Transport and detoxification of manganese and copper in plants[J]. Brazilian Journal of Plant Physiology, 2005, 17: 103-112.
- [7] Migocka M, Klobus G. The properties of the Mn, Ni and Pb transport operating at plasma of cucumber roots[J]. Physiologia Plantarum, 2007, 129: 578-587.
- [8] Abou M, Symeonidis L, Hatzistavrou E, et al. Nucleolytic activities and appearance of a new DNase in relation to nickel and manganese accumulation in *Alyssum murale*[J]. Journal of Plant Physiology, 2002, 159: 1087-1095.
- [9] Hauck M, Paul A, Gross S, et al. Manganese toxicity in epiphytic lichens: chlorophyll degradation and interaction with iron and phosphorus[J]. Environmental and Experimental Botany, 2003, 49: 181-191.
- [10] 金喜军, 马春梅, 龚振平, 等. 大豆鼓粒期对肥料氮的吸收与分配研究[J]. 植物营养与肥料科学, 2010, 16(2): 395-399. (Jin X J, Ma C M, Gong Z P, et al. Study on fertilizer-N absorption and distribution of soybean [*Glycine max* (L.)] during the seed-filling period[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(2): 395-399.)
- [11] 施益华, 刘鹏. 锰在植物体内生理功能研究进展[J]. 江西林业科技, 2003(2): 26-28. (Shi Y H, Liu P. Review of advance in physiological function of manganese in plants [J]. Jiangxi Forest Science and Technology, 2003(2): 26-28.)
- [12] 张玉先, 鲁巍, 崔洪秋, 等. 锰对大豆苗建成的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2007, 19(4): 5-9. (Zhang Y X, Lu W, Cui H Q, et al. Effect of manganese on seedling-building of soybean [J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2007, 19(4): 5-9.)