

玉米对不同剂量锰肥的反应

康玉林 黄新江 莫青* 张乃凤

(中国农科院土壤肥料研究所, 100081)

摘 要

本文应用岩棉栽培、盆栽和大田种植,较系统地研究和比较了玉米在不同剂量锰肥处理条件下的吸收和分配特点。结果表明,营养液中锰浓度达到55 mg/L(高出正常情况的500倍),盆栽和大田土壤施锰($MnSO_4 \cdot H_2O$)量达5g/kg土和1500g/m²时,玉米幼苗地上部干物产量和籽粒产量与正常施锰处理相比没有显著差异。当营养液锰浓度在1.1mg/L以下,盆栽和大田施锰量分别在0.17g/(kg土)和1500g/m²以下时,玉米对锰的吸收与对照相比无差异显著;当无土和盆栽条件下施锰量高于上述值时,玉米茎叶含锰量则随外界锰浓度的提高而直线增加,表现为被动的奢侈吸收。

关键词 玉米, 锰, 岩棉栽培, 盆栽, 大田种植

锰是植物生长的必需元素之一,当其在土壤中供给不足或过多时,则可引起农作物产量减少和品质下降^[1-14]。因此,研究作物对不同剂量锰肥的反应、忍耐程度,对提高作物产量、提高肥料利用率、防止农业土壤污染和保护人类健康具有重大意义。

我国对锰的研究大都侧重在锰的地域分布及其肥效上,有关作物对锰反应的详细、系统的研究尚未见报道。为此,我们通过玉米的岩棉栽培(无土栽培)、盆栽和大田种植较系统地研究和比较了玉米对不同剂量锰的吸收和分配特点,以及高剂量锰对玉米生长的影响。

一、材料和方法

(一) 岩棉栽培: 岩棉主要理化性质如表1所示。岩棉使用前,先在自来水中浸泡两天,然后反复用自来水冲洗,最后用去离子水冲洗三遍。每个塑料盒内装风干岩棉60g。盒的规格为9cm × 9cm × 10.5cm(长×宽×高)。盒分上、下二层,上层深6cm,底部有狭缝。岩棉装在上盒中,过量营养液可下渗到下层盒中。营养液的配方见表2。试验在温室内进行,1989年9月29日将事先浸泡好、已发芽的玉米(京早7号)插入岩棉中,每日浇去离子水。20天后开始间苗,每盒留4株,此后每天开始浇标准营养液(表2),渗漏到盒底的营养液不时反浇到岩棉中去,共浇36天,平均每天33ml。营养液中含Mn²⁺(配制化合物: $MnSO_4 \cdot H_2O$)分别为0,0.11,0.55,1.10,2.75,5.50,11.00,22.00,33.00,44.00和55.00mg/L,重复5次。11月23日收获取样。

(二) 盆栽试验: 供试土壤为北京褐土,取3m以下生土,主要农化性状见表3。盆装风干土壤2.5kg,以NH₄NO₃、KH₂PO₄和K₂SO₄为底肥,分别相当于N、P₂O₅和K₂O 0.2g/kg土。供试玉米

* 现在中国农科院蔬菜花卉研究所工作。

表 1 岩棉的理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of the rockwool

| 容重 Bulk density (g/cm ³) | 孔隙度 Porosity (%) | pH | N (mg/L) | P (mg/L) | K (mg/L) | Zn (mg/L) | Mn (mg/L) | Ca (mg/L) | Mg (mg/L) |
|--|------------------------|-----|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0.07—0.10 | 96 | 5.0 | 0—1.1 | 0—0.5 | 0.26 | 0.01—0.02 | 0.5—2.0 | 5.38 | 2.63 |

注: 表中各养分浓度为 1g 岩棉在 20g 去离子水中浸泡 3 小时后测得。

表 2 营养液配方

Table 2 Formula of the nutrient solution

| 化合物 Compounds | 化合物含量 (mg/L) Compounds conc. | 各元素最终含量 (mg/L) Elements final conc. | |
|--|------------------------------------|---|------|
| NH ₄ NO ₃ | 1600.0 | N | 784 |
| KNO ₃ | 606.6 | K | 235 |
| Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O | 944.6 | Ca | 160 |
| NH ₄ H ₂ PO ₄ | 230.2 | P | 62 |
| MgSO ₄ ·7H ₂ O | 246.5 | S | 32 |
| KCl | 372.8 × 10 ⁻² | Mg | 24 |
| H ₃ BO ₃ | 154.6 × 10 ⁻² | Cl | 1.77 |
| ZnSO ₄ ·7H ₂ O | 57.5 × 10 ⁻² | B | 0.27 |
| CuSO ₄ ·5H ₂ O | 12.5 × 10 ⁻² | Zn | 0.13 |
| (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O | 8.1 × 10 ⁻² | Cu | 0.03 |
| Fe-EDTA | 2153.8 × 10 ⁻² | Mo | 0.05 |
| | | Fe | 2.80 |

表 3 盆栽和微区试验土壤的农化性状

Table 3 Physical and chemical properties of the soil used for pot and plot trials

| 栽培方式 Cultivation | pH Water/ Soil (5:1) | 阳离子代换量 (m moles (+)/kg soil) CEC | 有机质 (%) O.M. | 碱解氮 (mg/kg) Alkalihyd- roizable-N | 速效磷 (mg/kg) Available P | 速效钾 (mg/kg) Available K | 有效锰 (mg/kg) Avaiable Mn | CaCO ₃ (%) |
|---------------------|-------------------------------|---|--------------------|--|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| 盆栽 | 8.30 | 140.5 | 0.25 | 14.60 | 9.30 | 100 | 4.94 | 8.20 |
| 大田微区 | 8.30 | 109.8 | 1.32 | 56.10 | 31.50 | 84.0 | 8.96 | 3.01 |

品种为京早 7 号。施 MnSO₄·H₂O 按 0, 0.03, 0.17, 0.33, 0.83, 1.67, 3.33, 5.00g/kg 土 8 个处理, 5 次重复。试验在网室内进行。1989 年 7 月 11 日播种, 8 月 12 日收获。

(三) 大田微区试验: 试验地点为北京市昌平区中国农科院作物所试验基地。玉米品种为中单 14 和京早 7 两种, 土壤类型为褐土, 其农化性状如表 3 所示。微区面积为 4m² (2×2)。锰肥处理用量分别为 0, 7.5, 75, 375, 750, 1125 和 1500g MnSO₄·H₂O/m², 以基肥方式(与 40cm 全土层混合)和氮(160g urea/plot)、磷钾肥(160g KH₂PO₄/plot)一同施入, 5 次重复。6 月 15 日播种, 玉米出苗后 15 天间苗, 每区留 20 株, 7 月 28 日每区取样 4 株, 并追施氮磷钾复合肥(160g/plot)一次, 9 月 25 日收获。

(四) 分析测定: 玉米植株用 HNO₃ 湿消化, 土壤有效锰用 DTPA 法提取, 两者锰含量均用原子吸收分光光度法测定。

二、结果与分析

(一) 岩棉栽培玉米幼苗对锰的反应

岩棉栽培排除了土壤的干扰,直接反映了玉米对水溶性锰的吸收与利用。图 1 表明,供给低浓度锰(0—1.10mg/L)的情况下,玉米幼苗根、茎、叶的含锰量各处理间没有显著差异,分别在 23.4—30.7, 15.4—21.0 和 49—66mg/kg 之间;而当溶液中锰的浓度增加到 2.75mg/L 时,玉米根、茎叶中的含锰量分别增加到 70.5, 62.4 和 116.5mg/kg。这可能是由于在低浓度锰情况下,作物对锰以选择吸收(主动吸收)为主,而在高浓度锰情况下,则以被动(奢侈)吸收为主^[7]。图 2 更清楚地表明,玉米幼苗在高锰浓度的影响下,其体内含锰量有急剧增加的趋势。当营养液中锰的浓度由 5.5mg/L 增至 55mg/L 时,玉米幼苗根的含锰量由 129.1 增加到 1097.0mg/kg, 茎的含锰量由 79.6 增加到 610.1mg/kg, 叶的含锰量由 139.2 增加到 1024.6mg/kg。显然这是由于幼苗被动(奢侈)吸收的结果。锰供应水平较低时,玉米各器官富集锰的能力为叶>根>茎(图 1),高锰水平(5.5—33mg/L)时,为叶≈根>茎,而在极高锰水平(44mg/L 和 55mg/L)时,为根>叶>茎(图 2)。

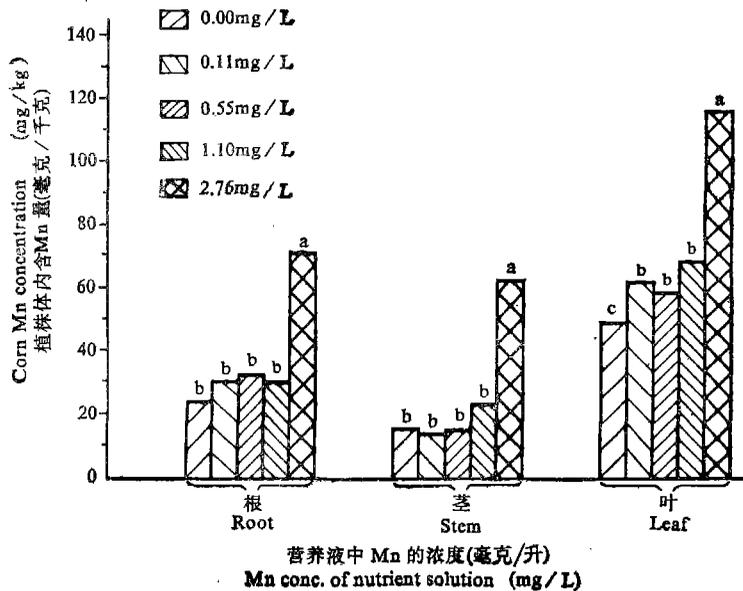


图 1 玉米幼苗对营养液中较低浓度 Mn 的吸收

Fig. 1 Mn uptake by corn shoot in nutrient solution with a lower Mn concentration

不同水平锰处理的玉米幼苗烘干重变化幅度为 7.0—8.0 g/container, 统计分析表明,各处理间无显著差异。尤其是在水溶性锰达到 55mg/L 时,玉米幼苗干物产量仍达到 7.5g/container, 可见玉米对高浓度锰有较强的适应性。

(二) 盆栽玉米幼苗对锰的反应

土壤施入锰肥后,土壤有效锰(DTPA-Mn)也随之提高,土壤有效锰含量 y (mg

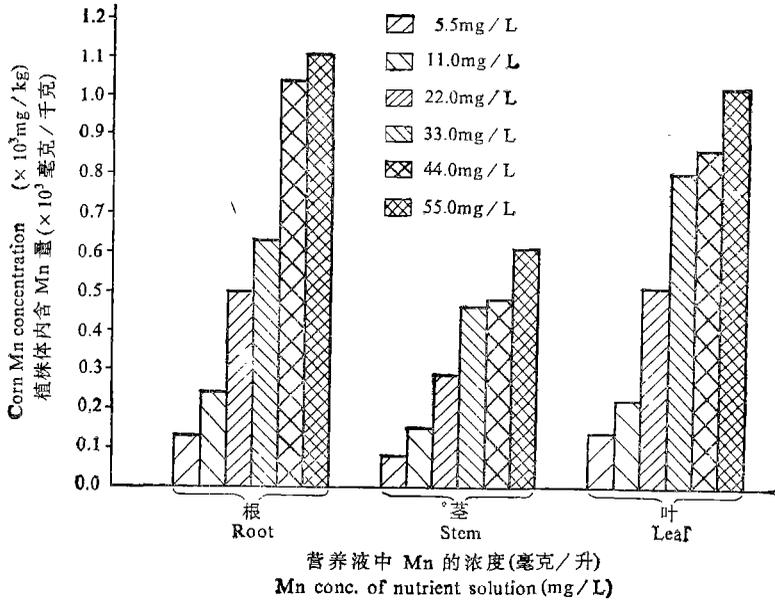


图 2 玉米幼苗对营养液中较高浓度 Mn 的吸收

Fig. 2 Mn uptake by corn shoot in nutrient solution with a higher Mn concentration

Mn/kg 土)与土壤施锰量 x (mgMn/kg 土)呈极显著正相关,其方程为 $y = 0.46x + 26.11$ ($n = 8, r = 0.9986^{**}$), (图 3)。

随着土壤供锰能力的提高,植株摄取锰量也相应增多,其体内含锰量也随之提高。如图 4 所示,当土壤有效锰由 5.3mg/kg 增到 300 和 363mg/kg 时,玉米幼苗地上部分含锰量则由 81mg/kg 上升到 222 和 618mg/kg,但土壤有效锰由 5.3 增至 30.1mg/kg 时,玉米茎叶含锰量并无明显变化;当有效锰升至 46mg/kg 时,玉米茎叶含锰量才开始增加,说明玉米幼苗对低含量的土壤有效锰有选择吸收的能力。

随着土壤有效锰的增加,幼苗干物重也随之增加,当土壤有效锰由 5.3mg/kg 增加到 300 和 763mg/kg 时,幼苗干物重则由 2.23g/pot

上升到 3.33 和 4.93g/pot (图 4),此时玉米幼苗吸收了大大超过本身生理需要的锰,然而玉米并没有发生生长受阻的现象,相反却明显地出现了促进生长的趋势。

(三) 大田玉米对锰的反应

1. 不同施锰量对玉米农艺性状的影响: 表 4 表明,不同剂量锰肥处理对两个玉米品

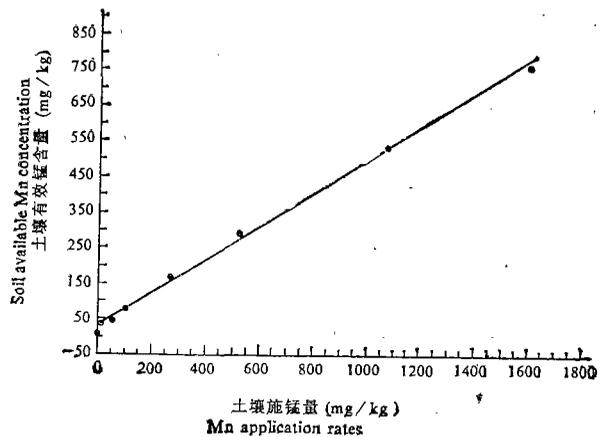


图 3 施锰量与土壤有效锰含量的相关关系

Fig. 3 Corelationship between Mn application and soil available Mn concentration

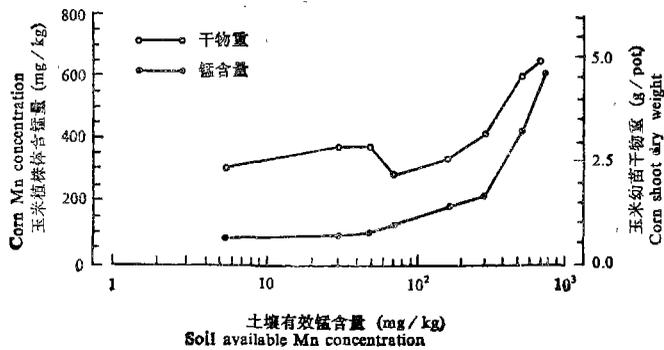


图4 土壤有效锰对盆栽玉米幼苗地上部分含锰量及干物重的影响

Fig. 4 Effects of soil available Mn on the Mn content and dry weight of corn shoots in the pot culture

种的产量、干粒重、株高和茎粗经统计分析均无显著影响。两个玉米品种对施锰处理反应基本一致。以京早7号为例,当施 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 处理在 $0-1500\text{g}/\text{m}^2$ 时,其产量变幅为 $1851-2261\text{g}/\text{plot}$,干粒重变幅为 $271-306\text{g}$,株高变幅为 $236-255\text{cm}$,茎粗变幅为 $2.13-2.36\text{cm}$,各处理间虽有一定的波动,但统计上均不显著。

2. 不同施锰水平对玉米各器官含锰量的影响:在大田栽培情况下(表5),玉米各器官的含锰量并不因施锰量的加大而明显增加,尤其是玉米籽粒和玉米芯含各锰量更是如此。当 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 施入量为 $0-1500\text{g}/\text{m}^2$ (折合 $0-1085^{11}\text{mgMn}/\text{kg}$ 土)时,玉米12叶期,茎、叶含锰量变化幅度分别为 $34.3-56.8\text{mg}/\text{kg}$ 和 $25.1-46.2\text{mg}/\text{kg}$,而在成熟期茎叶含锰量幅度分别为 $5.1-11.9\text{mg}/\text{kg}$ 和 $43.0-94.4\text{mg}/\text{kg}$,玉米籽实和玉米芯的含锰量分别在 $6.4-9.7\text{mg}/\text{kg}$ 和 $3.4-6.1\text{mg}/\text{kg}$ 之间。由此可见,两个玉米品种12叶期时茎的含锰量比成熟期时高出4-7倍,而叶子含锰量则反为成熟期的1/2左右。这说明在12叶

表4 锰肥对玉米农艺性状的影响

Table 4 Effect of Mn application on the agronomic character of corn

| 施 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (g/m^2) $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ addition | 中单14号 Zhongdan 14 | | 京早7号 Jingzao 7 | | | |
|---|---|------------------------------------|---|------------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| | 产量 (g/plot) Yield | 千粒重 (g) 1000 grain weight | 产量 (g/plot) Yield | 千粒重 (g) 1000 grain weight | 株高 (cm) Height | 茎粗 (cm) Stem diameter |
| 0 | 1384 | 262 | 1945 | 281 | 255.3 | 2.19 |
| 7.5 | 1303 | 250 | 1975 | 295 | 242.3 | 2.27 |
| 75 | 1279 | 275 | 2261 | 275 | 240.0 | 2.23 |
| 375 | 1326 | 266 | 1851 | 300 | 239.7 | 2.13 |
| 750 | 1301 | 254 | 1925 | 271 | 236.3 | 2.36 |
| 1125 | 1491 | 280 | 2038 | 306 | 254.0 | 2.22 |
| 1500 | 1330 | 287 | 2004 | 289 | 240.7 | 2.32 |

注: 统计分析表明以上各处理间无显著差异(以上数值均为5次重复平均值)。

1) 施锰肥深度为40cm,故土层按40cm计算。

表 5 不同施锰水平对玉米各器官含锰量的影响 (mg/kg)
Table 5 Effects of different rates of Mn application on tissue Mn concentration of corn (mg/kg)

| 品 种 Variety | 施入 MnSO ₄ ·H ₂ O (g/m ²) MnSO ₄ ·H ₂ O addition | 取样时期 Sampling time | | | | | |
|----------------|---|-------------------------|------------|-------------------|------------|-------------|----------|
| | | 12 叶期 12 leaf period | | 成 熟 期 Maturity | | | |
| | | 茎 Stem | 叶 Leave | 茎 Stem | 叶 Leave | 籽实 Grain | 芯 Cob |
| 中单 14 号 | 0 | 52.0a | 35.3b | 8.5b | 79.3b | 7.8a | 4.0a |
| | 7.5 | 46.3a | 37.9ab | 8.0b | 84.3ab | 8.4a | 3.9a |
| | 75 | 45.9a | 40.3ab | 8.6b | 83.3ab | 8.7a | 3.4a |
| | 375 | 48.7a | 46.2a | 9.2ab | 80.4b | 9.0a | 3.6a |
| | 750 | 47.1a | 41.3ab | 10.2ab | 85.6ab | 9.7a | 3.8a |
| | 1125 | 55.1a | 41.0ab | 9.6ab | 86.8ab | 8.5a | 4.7a |
| | 1500 | 53.5a | 39.5ab | 11.9a | 94.4a | 7.9a | 4.2a |
| 京早 7 号 | 0 | 34.3a | 44.7a | 5.7b | 50.3bc | 6.4a | 5.7a |
| | 7.5 | 43.7abc | 39.0ab | 5.1b | 42.9c | 7.0a | 5.8a |
| | 75 | 34.3c | 38.1ab | 5.5b | 43.0c | 7.0a | 4.5a |
| | 375 | 50.2ba | 31.8b | 7.0a | 57.3b | 7.6a | 5.8a |
| | 750 | 37.6bc | 25.1b | 7.1a | 54.6b | 7.1a | 6.1a |
| | 1125 | 47.7b | 38.8ab | 7.0a | 62.3ab | 7.5a | 6.1a |
| | 1500 | 56.8a | 39.6ab | 7.2a | 71.2a | 7.7a | 5.7a |

注: 具有相同字母者,其值差异不显著 ($P = 0.05$), 以上数值均为 5 次重复平均值。

期玉米茎是锰富集的重要部位。

三、讨 论

1. 不同栽培条件下玉米茎叶含锰量的比较: 本试验在三种栽培条件下采用超过常量锰肥 2—750 倍的剂量, 研究了玉米茎叶对锰吸收和富集的能力。结果表明, 岩棉栽培 > 盆栽 > 大田种植。这可能是由于岩棉栽培克服了土壤对锰的吸附和固定等作用, 并且水溶性锰又是最易被作物根系吸收利用的形态, 因而在高浓度锰 (55mg/L) 条件下, 玉米幼苗茎叶含锰量分别达到 610 和 1025 mg/kg, 大大超过了受锰毒害玉米植株的含锰标准^[8] (200mg/kg)。在盆栽条件下, 玉米生长受到一定容积土壤的影响, 即根系只能在有限的范围内伸展, 与施锰肥的土壤接触十分充分, 尽管土壤中水溶性锰与岩棉栽培相比微乎其微, 但土壤中有相当数量的有效锰 (DTPA-Mn) 存在, 并可为植物所利用, 因此在施锰量 1125g/m² 时, 玉米幼苗茎叶锰含量可达 618 mg/kg。在大田生产情况下, 其活动范围远大于盆栽玉米。加之大田土壤对施入锰有更强的固定作用, 致使有效锰含量较之盆栽下大幅度减少, 因而表现在茎叶含锰量上低于盆栽玉米。

以上讨论说明, 栽培条件不同, 栽培介质不同, 对玉米吸收锰的影响是相当大的, 只靠做水培和盆栽试验以找出作物对锰的丰缺临界指标是不完全的。

2. 施用过量锰肥对玉米产量的影响: 近年来已有不少有关施锰肥提高玉米产量的报道^[5,6]。余存祖等人^[5]根据土壤生物反应试验,认为在土壤有效锰含量很高的地区(> 9.2 mg/kg),不宜施用锰肥,若施用过多,则往往造成减产。这个结论从合理使用肥料的角度看,无疑是正确的,但从我们的研究看,无论是岩棉栽培、盆栽试验,还是大田微区试验,当基质中锰(土壤有效锰)急剧增加的情况下,玉米并未出现明显的减产现象。显然本结论与余存祖等人的报告有一定的出入。本试验表明,玉米对超量锰有较强的忍耐能力,在石灰性土壤上,过量的锰肥投入并不会影响玉米的正常生长而减产。

参 考 文 献

1. 贺家媛, 1986: 河南省土壤微量元素含量分布及在农业上的应用。土壤学报,第 23 卷 2 期, 132—141 页。
2. 高弼模等, 1988: 山东省土壤含锰量及锰肥效应。山东农业科学,第 2 期, 2—4 页。
3. 唐雪群, 1984: 锰肥肥效及施肥技术。辽宁农业科学,第 6 期, 39—43 页。
4. 彭琳, 1981: 黄土区土壤锰的含量及锰肥肥效。土壤通报,第 6 期, 16—20 页。
5. 余存祖等, 1984: 土壤有效锰(DTPA-Mn)的应用评价与临界值的探讨。土壤学报,第 21 卷 3 期, 277—283 页。
6. 王学贵等, 1984: 锰肥在钙质土中的固定及对玉米的肥效。陕西农学科学,第 4 期, 32—34 页。
7. Horst Marschner, 1986: Mineral nutrition of higher plants. Academy Press, INC, p. 48.
8. Horst Marschner, 1986: Mineral nutrition of higher plants. Academy Press, INC, p. 236.

RESPONSE OF CORN TO DIFFERENT RATES OF MANGANESE APPLICATION

Kang Yulin, Huang Xinjiang, Mo Qing and Zhang Naifeng

(Soil and Fertilizer Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, 100081)

Summary

A comparative experiment was systematically conducted to study the response of corn to different rates of Mn application under the conditions of soilless culture, pot experiment and field trial.

The results indicated that there were no significant differences in the shoot dry weight and grain yield of corn between the treatments with Mn input rate as high as 55 mg/L (500 times higher than normal) in nutrient solution and $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ rates of 5g/kg soil in pot but 1500 g/m² in field trials and their respective control treatment. Also, no remarkable change in the Mn uptake by the plant as recorded when Mn concentration in nutrient solution was below 1.1mg/L and $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ rates were 0.17g/kg soil or lower in pot culture and 1500g/m² in field trials as compared with CK treatments. The plant Mn content increased linearly as the medium (rockwool and pot soil) Mn content increased over the above-mentioned Mn rates, showing a characteristic passive Mn absorption of the corn.

The Mn absorption capacity of corn under three culture conditions was in the order of soilless culture > pot experiment > field trials. The corn organs with a relatively stable Mn concentration were corn ear and corn cob, in which Mn content varied from 6.4 to 9.7 and from 3.4 to 6.1 mg/kg respectively in all Mn treatment. The Mn concentrations of the ear and cob were far lower than those of roots, stems and leaves of the corn.

Key words Corn, Manganese, Soilless culture, Pot experiment, Field trial