

钼、锰营养对大豆碳氮代谢的影响*

蔡妙珍¹ 刘 鹏^{1†} 徐根娣¹ 严顺平^{1,2}

(1 浙江师范大学化学与生命科学学院,浙江金华 321004)

(2 中国科学院上海植物生理生态研究所,上海 200032)

EFFECT OF MOLYBDENUM AND MANGANESE APPLICATION ON METABOLISM OF CARBON AND NITROGEN IN SOYBEAN

Cai Miaozhen¹ Liu Peng^{1†} Xu Gendi¹ Yan Shunping^{1,2}

(1 College of Chemistry and Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua, zhejiang 321004, China)

(2 Institute of Plant Physiology and Ecology, Chinese Academy of Science, Shanghai 200032, China)

关键词 大豆; 钼; 锰; 碳氮代谢
中图分类号 Q945 文献标识码 A

钼、锰是植物生长所必需的微量元素,对作物的生长发育、产量和品质都有明显影响。钼在植物氮代谢中起着关键作用,主要与钼是硝酸还原酶和固氮酶等含钼酶类的重要组成成分有关^[1]。同时钼对维持叶绿体的正常结构也是必不可少的,缺钼会导致植物叶绿素含量减少,光合强度降低^[2]。锰对作物的光合作用、氮、碳和脂类代谢有密切关系,并是多种酶的组分与活化剂,锰营养的丰缺对大豆的生长发育、产量及抗逆性有显著影响^[3]。在钼或锰营养方面,目前研究较多是钼或锰对大豆的产量、品质和生理活性的影响,例如施钼能提高豆科植物根瘤菌数量,促进植株生长,增加生物量和产量^[4~6]。锰浸种会影响大豆种子萌发和幼苗的生理特性^[7],施锰增加大豆的株高、株荚数、百粒重^[8],同时也影响大豆的生理特性^[9]。但这些研究均是以钼或锰单因子的影响为主,而对钼、锰营养共同对大豆碳氮代谢的影响报道较少。因此,本研究以大豆为材料,通过土培实验探讨钼、锰营养对大豆光合速率、叶绿素含量、呼吸速率及硝酸还原酶活性的影响,拟进一步揭示钼、锰营养共同对大豆碳氮代谢的影响,为农业生产合理施用钼、锰肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试大豆为浙江省农业科学院大豆组提供的优质高产春大豆(*Glycine max* L.)品种“浙春3号”。

供试土壤采自浙江师范大学校园 15~30 cm 的红壤,土壤风干后,过 2 mm 筛备用。土壤基本理化性质为:pH 5.96,有机质 18.2 g kg⁻¹,阳离子代换量 3.94 cmol kg⁻¹,全氮 0.53 g kg⁻¹,有效磷 60.4 mg kg⁻¹,速效钾 147.9 mg kg⁻¹,有效锰 4.5 mg kg⁻¹,有效钼 0.134 mg kg⁻¹。土壤各基本理化性状均采用参考文献[10]的方法分析测定。

试验设计:大豆种子播于石英砂中,当幼苗第一片复叶展开时,选择长势一致的大豆幼苗,移苗盆栽。盆栽用风干土 5.0 kg,基肥含 N 200 mg kg⁻¹,P₂O₅ 130 mg kg⁻¹,K₂O 200 mg kg⁻¹,分别以尿素、磷酸二氢钙和氯化钾为肥源。钼((NH₄)₂MoO₄·4H₂O)、锰(MnSO₄·H₂O)试验设 7 个处理(见表 1),每个处理重复 4 次。所有肥料均在移苗 7d 前与基肥拌匀施入。每盆栽大豆 5 株,分别于五叶期、初花期、盛

* 浙江省自然科学基金项目(300284)资助

† 通讯作者, E-mail: sky79@zjnu.cn

作者简介:蔡妙珍(1976~),女,浙江东阳人,博士,副教授,主要从事植物逆境生理和环境科学研究

收稿日期:2006-09-24;收到修改稿日期:2006-12-23

荚期间苗一株。取样从上到下取第 2、第 3 片完全展开叶,取样时间为上午 7:30~8:30。

表 1 试验处理

处理编号	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Mb (mg kg^{-1})	0	0	2	2	0	20	20
Mn (mg kg^{-1})	0	2	0	2	20	0	20

1.2 测定内容与方法

光合速率测定:用金坛分析仪器厂 HQF-20 型红外线 CO_2 分析仪,以闭路系统测定,用 CO_2 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 表示;叶绿素含量:采用混合浸提法^[11];呼吸速率用小篮子法测定,用 CO_2 $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ (以鲜重计)表示^[12];硝酸还原酶活性用磺胺比色法测定,用 NO_2^- $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ (以鲜重计)表示^[12];可溶性糖含量用蒽酮比色法测定,用植物组织含糖量占组织鲜重的百分比表示^[12]。

2 结果与分析

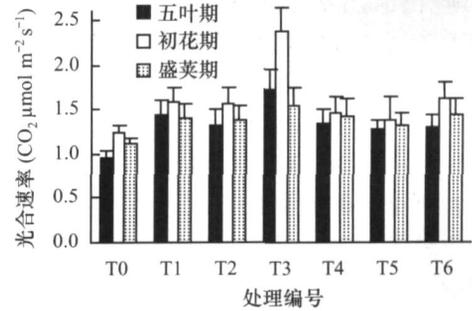
2.1 钼、锰对大豆叶片光合速率的影响

钼、锰营养对大豆叶片光合速率的影响如图 1 所示。钼、锰营养对大豆叶片光合速率均有明显促进作用。从各时期的光合速率来看,与对照相比,低钼与低锰配施的处理 T3,对光合速率的促进效果最好,其次是高钼与高锰配施的处理 T6。单施锰的处理 T1 与 T4,光合速率明显高于对照,其中以低锰 T1 施用的效果较好。单施钼 (T2、T5) 也能促进大豆的光合速率,但其效果不如钼与锰配施明显。可见,施锰比施钼对光合速率的促进作用大,特别是低钼与低锰配施效果更好,可以大大促进大豆叶片的光合速率。从各处理的不同时期对光合速率的影响来看,每一处理的初花期光合速率均是最高,有利于处于生殖生长期的豆,通过提高叶片光合速率,合成更多的产物,以满足顶部花序开花、结荚、鼓粒的需要。

2.2 钼、锰对大豆叶片叶绿素含量的影响

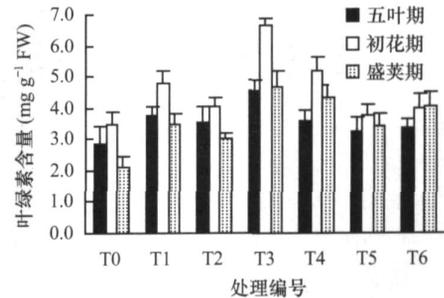
大豆叶片叶绿素含量的变化如图 2 所示。与对照相比,钼、锰单施或配施处理均提高叶绿素含量,表现了明显的促进作用。各处理相比,叶绿素含量以低钼与低锰配施的 T3 最高,表明低浓度的钼、锰在影响叶绿素含量上呈现相互促进的作用。低锰单施 (T1) 大于低钼单施 (T2),高锰单施 (T4) 大于高钼单施 (T5),说明锰较钼对叶绿素含量的促进作用更

为明显。大豆生长的各时期相比,叶绿素的含量均以初花期最高,这与该时期光合速率最高是一致的。



注:T0: 对照; T1: Mb 0 mg kg^{-1} , Mn 2 mg kg^{-1} ; T2: Mb 2 mg kg^{-1} , Mn 0 mg kg^{-1} ; T3: Mb 2 mg kg^{-1} , Mn 2 mg kg^{-1} ; T4: Mb 0 mg kg^{-1} , Mn 20 mg kg^{-1} ; T5: Mb 20 mg kg^{-1} , Mn 0 mg kg^{-1} ; T6: Mb 20 mg kg^{-1} , Mn 20 mg kg^{-1}

图 1 钼、锰对大豆叶片光合速率的影响



注:T0: 对照; T1: Mb 0 mg kg^{-1} , Mn 2 mg kg^{-1} ; T2: Mb 2 mg kg^{-1} , Mn 0 mg kg^{-1} ; T3: Mb 2 mg kg^{-1} , Mn 2 mg kg^{-1} ; T4: Mb 0 mg kg^{-1} , Mn 20 mg kg^{-1} ; T5: Mb 20 mg kg^{-1} , Mn 0 mg kg^{-1} ; T6: Mb 20 mg kg^{-1} , Mn 20 mg kg^{-1}

图 2 钼、锰对大豆叶片叶绿素含量的影响

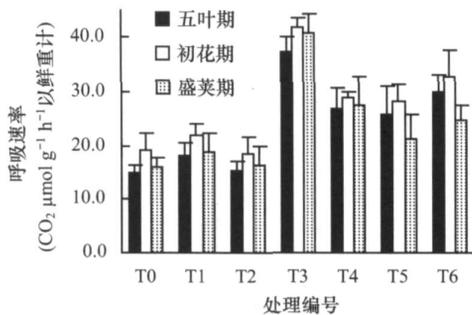
2.3 钼、锰对大豆叶片呼吸速率的影响

图 3 表明,土培试验从各处理来看,各钼、锰处理大豆叶片的呼吸速率均高于对照 (T0),其中以低钼与低锰配施 (T3) 最高,其次为高钼、高锰配施 (T6),高锰 T4、高钼 T5 单施也较高。从大豆生长期来看,各处理下的呼吸速率均在初花期达到最高,这与初花期大豆形态器官的建立密切相关。从钼、锰对呼吸速率的影响来看,低锰单施 (T1) 大于低钼单施 (T2),高锰单施 (T4) 大于高钼单施 (T5),表明锰较钼的促进作用更大。

2.4 钼、锰对大豆叶片可溶性糖含量的影响

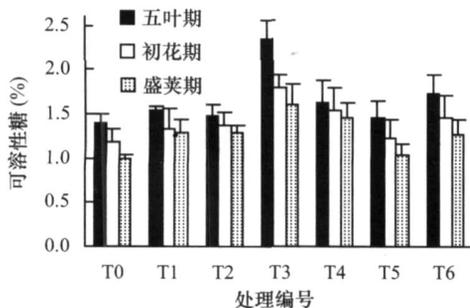
图 4 显示,各处理与对照相比,叶片中可溶性糖含量均有不同程度的提高,以低钼与低锰配施 (T3) 处理最为明显,其次为高钼与高锰配施 (T6),表明钼

与锰配施更利于提高叶片内的可溶性糖含量。从钼和锰对可溶性糖含量提高的贡献来看,高锰单施(T_4)处理明显高于高钼单施(T_5)处理,表明锰的作用比钼大。从各时期来看,各处理均以 5 叶期含量最高,初花期和盛荚期逐渐下降。造成这些变化的原因有:一方面施钼和锰促进了大豆叶片的光合作用,可提高叶片中可溶性糖含量,这可能是钼、锰各处理较对照含量高的主要原因。另一方面叶片中可溶性糖含量还受生育期的影响。在生殖生长阶段,叶片中的可溶性糖大量运输至生殖器官,导致初花期、盛荚期的可溶性糖含量低于五叶期。



注:T0: 对照; T1: Mo 0 mg kg⁻¹, Mn 2 mg kg⁻¹; T2: Mo 2 mg kg⁻¹, Mn 0 mg kg⁻¹; T3: Mo 2 mg kg⁻¹, Mn 2 mg kg⁻¹; T4: Mo 0 mg kg⁻¹, Mn 20 mg kg⁻¹; T5: Mo 20 mg kg⁻¹, Mn 0 mg kg⁻¹; T6: Mo 20 mg kg⁻¹, Mn 20 mg kg⁻¹

图 3 钼、锰对大豆叶片呼吸速率的影响



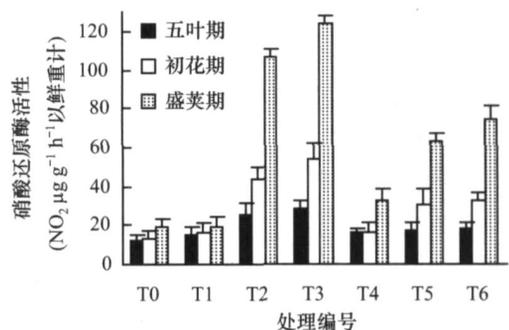
注:T0: 对照; T1: Mo 0 mg kg⁻¹, Mn 2 mg kg⁻¹; T2: Mo 2 mg kg⁻¹, Mn 0 mg kg⁻¹; T3: Mo 2 mg kg⁻¹, Mn 2 mg kg⁻¹; T4: Mo 0 mg kg⁻¹, Mn 20 mg kg⁻¹; T5: Mo 20 mg kg⁻¹, Mn 0 mg kg⁻¹; T6: Mo 20 mg kg⁻¹, Mn 20 mg kg⁻¹

图 4 钼、锰对大豆叶片可溶性糖含量的影响

2.5 钼、锰对大豆叶片硝酸还原酶(NR)活性的影响

硝酸还原酶(NR)是大豆植株利用氮素的首要限速酶,钼、锰营养对大豆叶片中硝酸还原酶的效应

如图 5 所示。各处理对 NR 的效应来看,低钼与低锰配施(T_3)、低钼单施(T_2)处理 NR 活性较高,高钼与高锰配施(T_6)、高钼单施(T_5)其次,说明低钼与低锰配施及钼单施的 NR 活性高于高钼与高锰配施及高钼单施。单施锰处理 NR 活性略高于对照,但效果远不如钼处理来得明显。说明钼营养与 NR 的活性密切相关。原因在于钼是 NR 辅基中的金属元素,与其中的蛋白质部分结合,是 NR 不可缺少的一部分^[5]。而锰能促进 NR 的活性,其原因可能是通过影响大豆其他方面的代谢间接起作用,但具体机理有待进一步研究。从各个时期来看,各处理均以初花期的 NR 活性最高。这是因为该时期大豆处于生殖生长阶段,需要合成大量的氮化合物用于花器官和种子的形成,及在种子中蛋白质的积累等,因此通过提高 NR 活性可以缓解氮代谢的矛盾。各处理之间的差异在该时期也最明显,是大豆对钼营养的敏感期。



注:T0: 对照; T1: Mo 0 mg kg⁻¹, Mn 2 mg kg⁻¹; T2: Mo 2 mg kg⁻¹, Mn 0 mg kg⁻¹; T3: Mo 2 mg kg⁻¹, Mn 2 mg kg⁻¹; T4: Mo 0 mg kg⁻¹, Mn 20 mg kg⁻¹; T5: Mo 20 mg kg⁻¹, Mn 0 mg kg⁻¹; T6: Mo 20 mg kg⁻¹, Mn 20 mg kg⁻¹

图 5 钼、锰对大豆叶片硝酸还原酶活性的影响

3 讨论

钼、锰营养对大豆生理活性具有重要作用。钼、锰单施或配施后,植株有较高的光合速率、叶绿素含量、呼吸速率、可溶性糖含量和硝酸还原酶活性,但两者在影响大豆生理活性的强度上存在差异。钼作为硝酸还原酶的重要组成成分,直接影响硝酸还原酶的活性。本试验中大豆五叶期、初花期、盛荚期的硝酸还原酶活性均随着钼用量的增加而增加,这种作用在盛荚期或初花期尤为明显,表明钼对大豆的生殖生长作用更大。原因在于营养生长期需要同化

大量的氮素建成营养器官,盛荚期需要大量的氮素合成氨基酸和蛋白质,建成繁殖器官^[13]。胡承孝等^[14]对冬小麦的三个生育时期钼营养的吸收和积累研究也表明,营养生长期是冬小麦钼营养的关键时期,但这段时期的钼吸收量只有总积累量的2%左右,冬小麦吸收积累钼的高峰在生殖生长期。本试验中锰在光合速率、叶绿素含量、呼吸速率、可溶性糖含量方面的作用好于钼营养。原因在于锰是维持叶绿体膜正常结构所必需的,而叶绿体是植物进行光合作用的场所。同时锰也直接参与光合作用过程中的电子传递,是光系统 II 中的电子供体。

钼、锰营养间存在相互作用,并与植物的种类及钼、锰的施用量或培养介质有关。刘鹏等^[15]的研究结果表明,钼、锰对七子花生理效应的影响比较复杂,低浓度($< 0.05 \text{ mg L}^{-1}$)的钼、锰在七子花体内呈现相互促进作用,而高浓度(0.05 mg L^{-1})钼、锰呈现拮抗作用。本试验中,钼、锰间的相互作用对大豆生理活性的影响与钼、锰施用量有关。与低钼、低锰单施相比,低钼与低锰配施处理各时期的光合速率、叶绿素含量、呼吸速率、可溶性糖含量和硝酸还原酶活性均大幅度提高,表明适量的钼与锰配施可以调节植物的生理过程。高钼与高锰配施,钼、锰的相互促进作用并不是很明显。低钼与低锰配施呈现相互促进的作用,原因在于光合产物三碳化合物一方面用于可溶性糖和淀粉的合成,一方面用于 NH_3 同化为氨基酸和蛋白质。施锰后,大豆光合能力增强,可提供大量的三碳化合物用于可溶性糖等合成^[16]。施钼后,大豆的氮素同化能力加强,可以使越来越多的光合三碳化合物流向氮素代谢,有利于叶片中氨基酸和蛋白质等合成。可见,钼、锰配施可在一定程度上调节植株的碳氮代谢,改善作物的产量和品质,从本试验的结果看,配施浓度以 $\text{Mo } 2 \text{ mg kg}^{-1}$ 与 $\text{Mn } 2 \text{ mg kg}^{-1}$ 为好。

参考文献

- [1] Kaiser B N. The role of molybdenum in agricultural plant production. *Annals of Botany*, 2005, 96(5): 745 ~ 754
- [2] 庞静, 胡承孝, 王运华, 等. 钼对黄棕壤上冬小麦碳代谢的影响. *华中农业大学学报*, 2001, 20(1): 33 ~ 35
- [3] Fang Z, Zhang Y G, Zhang F S, *et al.* Mechanisms of difference in Mn efficiency between wheat and oilseed rape. *Pedosphere*, 2000, 10(3): 213 ~ 220
- [4] Choudhary H P, Das S K. Effect of P, S and Mo application on yield of rainfed black gram and their residual effect on safflower and soil and water conservation in an eroded soil. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 1996, 44: 741 ~ 745
- [5] 喻敏, 王运华. 高等植物中的钼. *植物学通报*, 1999, 16(5): 547 ~ 554
- [6] 卢广远, 谢幸华, 寇传喜, 等. 施钼对夏大豆产量及品质的影响. *大豆通报*, 2006, (1): 20 ~ 21
- [7] 刘鹏, 徐根娣, 倪建英, 等. 锰浸种对大豆种子萌发和幼苗生理特性的影响. *中国油料作物学报*, 2002, 24(4): 24 ~ 28
- [8] 张玉先. 锰元素对不同基因型大豆产量的影响. *中国农学通报*, 2005, 21(7): 245 ~ 247, 285
- [9] 俞慧娜, 徐根娣, 杨卫韵, 等. 锰处理对大豆生理特性的影响. *河南农业科学*, 2005, (7): 35 ~ 38
- [10] 南京农业大学. 土壤农化分析. 北京: 农业出版社, 1992
- [11] 张宪政, 谭桂茹. 植物生理学实验技术. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1989.
- [12] 张志良. 植物生理学实验指导. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 1990
- [13] Chandra D, Kothari M L. Effect of nodes and levels of molybdenum application on grain yield protein content and nodulation of chickpea grown on loamy sand soil. *Communications in Soil Science and Plant Nutrient*, 2002, 33: 2 905 ~ 2 915
- [14] 胡承孝, 王运华, 庞静, 等. 冬小麦不同生育阶段对钼的吸收和积累. *华中农业大学学报*, 2001, 20(4): 350 ~ 353
- [15] 刘鹏, 徐根娣, 周子仙, 等. Mo 和 Mn 对七子花几种生理效应的影响. *林业科学研究*, 2002, 15(2): 156 ~ 162
- [16] 关义新, 林葆, 凌碧莹. 光、氮及其互作对玉米幼苗叶片光合和碳、氮代谢的影响. *作物学报*, 2000, 26(6): 806 ~ 812