

燕麦/小麦间作对小麦生长和锰营养的影响

何春娥¹, 赵秀芬^{1,2}, 刘学军^{1*}, 张福锁¹

(1. 中国农业大学植物营养系, 植物土壤相互作用教育部重点实验室, 北京 100094;

2. 山东莱阳农学院农学系, 莱阳 265200)

摘要:通过根系分隔的盆栽试验,研究了燕麦/小麦间作对小麦生长及其锰营养的影响。结果表明:根系不分隔处理,小麦地上部干重和植株吸锰量都高于其他两种分隔方式;而根系完全分隔处理,小麦地上部植株锰含量高于其他两种分隔方式;根系不同分隔方式对川麦 28 土壤 DTPA-Mn 含量几乎没有影响,小麦 9023 土壤 DTPA-Mn 含量则以完全分隔处理高于另外两种分隔方式。推测在该间作体系中,燕麦可能通过根系分泌物来活化土壤难溶性的锰氧化物,从而促进了小麦的生长,改善了小麦的锰营养,但因其竞争能力不如小麦而削弱了自身的生长。具体原因有待于进一步试验验证。试验还发现,种植燕麦后土壤的 DTPA-Mn 含量要高于种植小麦后的土壤,而且燕麦地上部植株锰含量也比小麦高,表明燕麦活化、吸收土壤锰的能力强于小麦。不同间作组合时,小麦各项研究指标无一致的规律性,说明在促进小麦生长、改善小麦锰营养的能力方面,本试验采用的 3 个燕麦品种之间无明显差异。

关键词:燕麦/小麦间作;根系分隔方式;锰营养

文章编号:1000-0933(2006)02-0357-07 中图分类号:Q143, S181, S344.2 文献标识码:A

The effects of intercropping oat and wheat on growth and manganese nutrition of wheat

HE Chun-E¹, ZHAO Xiu-Fen^{1,2}, LIU Xue-Jun^{1*}, ZHANG Fu-Suo¹ (1. Department of Plant Nutrition, China Agricultural University, Key Laboratory of Plant-Soil Interaction, MOE, Beijing 100094, China; 2. Department of Agronomy, Shandong Laiyang Agricultural College, Laiyang 265200, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 357 ~ 363.

Abstract: Manganese (Mn) deficiency in wheat is a typical nutritional problem on calcareous soils, especially under rice-wheat rotation system. However, wheat yield loss induced by Mn deficiency may be reduced through interactions between two crops with different Mn utilization potentials. In 2003, a pot experiment was conducted at a greenhouse of China Agricultural University to evaluate the effects of oat/wheat intercropping on growth and Mn nutrition of wheat grown in a Mn-deficient soil. The pot experiment included two factors: root-isolation (including solid barrier, mesh barrier and no barrier) and intercropping combination. Two wheat cultivars (Chuanmai28 and 9023) and three oat cultivars (Bayou 1, Bayou 3 and Jizhangyou 4) were used in this experiment. Each of the 18 treatments (3 × 2 × 3) was replicated three times. All treatments received the same rates of Ca(NO₃)₂ (0.3 g N kg⁻¹), Ca(H₂PO₄)₂ (0.2 g P₂O₅ kg⁻¹) and K₂SO₄ (0.3 g K₂O kg⁻¹) as NPK fertilizers before planting. The ratios of N:P₂O₅:K₂O were 1.5:1:1.5. All plants were harvested after 2 months of growth. Shoot dry weight and Mn concentration were measured and shoot Mn uptake was calculated by multiplying biomass by Mn concentration. The original soil was an alluvial paddy soil with pH 7.69, O.M. 34.9 g·kg⁻¹, exchangeable Mn 1.0 mg·kg⁻¹, and active Mn 19.0

基金项目:国家自然科学基金资助项目(49801013);教育部重大资助项目(0112);农业部 948 重大资助项目(202003Z53)

收稿日期:2004-12-10; **修订日期:**2005-05-20

作者简介:何春娥(1978~),女,湖南邵阳市人,博士生,主要从事植物营养生态研究. E-mail: amxsybh@126.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: liu310@cau.edu.cn

Foundation item: The project was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 49801013), Key Project of MOE (No. 0112) and Key Import Project of MOA (No. 202003Z53)

Received date: 2004-12-10; **Accepted date:** 2005-05-20

Biography: HE Chun-E, Ph.D. candidate, mainly engaged in plant nutrition and ecology. E-mail: amxsybh@126.com

$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Wheat Mn-deficient symptoms were initially observed at the fourth-extended leaf stage of wheat, and the most serious symptoms of Mn deficiency appeared at the sixth-extended leaf stage. But the symptoms gradually diminished as air temperature increased, providing evidence that low temperature is a primary cause for wheat Mn-deficiency. The symptoms of Chuanmai 28 were more serious than those of 9023 and no Mn-deficient symptoms of oat were observed, suggesting that Chuanmai 28 was more sensitive to Mn deficiency than 9023 and both of these two wheat cultivars were more sensitive to Mn deficiency than three oat cultivars.

Compared with the solid barrier and mesh barrier treatments, complete root interaction (no barrier treatment) led to significantly higher shoot dry weight and Mn uptake of the two wheat cultivars. The shoot Mn concentrations of the two wheat cultivars, however, were higher in the solid barrier treatment than in the other two treatments (mesh barrier and no barrier). The DTPA-Mn in soil grown oat was higher than grown wheat across barrier treatments and Mn concentration and Mn uptake of oat genotypes were much higher than those of wheat genotypes. Consequently, we speculate that oat may facilitate the growth and improve the manganese nutrition of wheat under intercropping by activating the insoluble soil Mn oxides with root secretion. Observed increased growth and higher Mn uptake of wheat intercropped with oat (no barrier) provide initial support for this hypothesis.

Key words: oat/wheat intercropping; root barriers; Mn nutrition; Mn-deficient soil

小麦缺锰是全球石灰性土壤特别是水旱轮作条件下出现的一个典型的营养失调问题。自 20 世纪 70 年代末中国^[1]和印度^[2]相继发现小麦缺锰症状起,其程度和范围就呈日益扩大的趋势,成为我国和印度农业生产中一个重要的土壤养分问题。就防治的途径来看,施用锰肥是常见的解决小麦缺锰的手段^[2,3]。然而,对于一些生长在潜在缺锰或轻度缺锰土壤上的作物,往往容易被忽略而造成产量的损失。因此,通过发挥植物自身潜力或植物之间的相互作用来缓解作物缺锰症成为人们关注的热点^[4,5]。早在 1958 年, Bromfield^[6]就得到燕麦根分泌物(根洗脱液)还原活化 MnO_2 的试验证据。也有报道发现,白羽扇豆根系的淋洗液溶解 MnO_2 的数量比原土体高出数十倍^[7]。白羽扇豆/小麦混播,白羽扇豆的根系分泌物对土壤锰氧化物的还原活化同时促进了小麦对锰的吸收,而且白羽扇豆播种量越大,小麦地上部锰浓度越高^[8]。

那么,燕麦/小麦间作,燕麦能否起到如同白羽扇豆的作用,即通过燕麦根系分泌物还原活化土壤中的高价锰氧化物来促进小麦对锰的吸收,改善小麦的锰营养,就成了本研究关心的问题。因此本文利用根系不同分隔方式的间作,研究了燕麦/小麦根系相互作用对小麦生长及其锰营养的影响。

1 材料与方法

1.1 供试土壤和作物品种

供试土壤取自四川成都平原温江县水旱轮作田的耕层土壤(0~15 cm),属砂壤质灰色冲积性水稻土(简称灰潮土)。土壤基本理化性状为:pH 7.69(土水比为 1:2.5),有机质 3.49%,交换性锰 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、活性锰 $19.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,属于缺锰严重土壤。供试小麦为川麦 28、9023,由四川省农科院作物所提供;供试燕麦为坝蓓一号、坝蓓三号、冀张蓓四号,由河北省张家口坝上农科所提供。

1.2 试验设计

试验选用装 2.5 kg 风干土的塑料盆,采用 3 种隔网方式:①完全分隔,用塑料膜将两种作物的根系完全分开,两作物根系间无相互作用;②尼龙网分隔,用 $30 \mu\text{m}$ 的尼龙娟网分开,根系被分开,但根系间有养分交换;③不分隔,没有任何介质分隔两作物。

试验采用双因素设计,因素一为不同的隔网方式(3 种),因素二为不同的间作组合(6 种组合),18 个处理,重复 3 次,共 54 盆,随机排列。

基肥中的氮肥为硝酸钙,磷肥为三料过磷酸钙,钾肥为硫酸钾;所有处理均施 N 0.3 g/kg 干土、 P_2O_5 0.2 g/kg 干土、 K_2O 0.3 g/kg 干土,与土壤充分混匀后装盆。

试验于2003年2月25日播种,4月22日收获小麦、燕麦地上部,分析植株地上部锰含量,同时取土分析土壤中DTPA-Mn含量。试验地点在中国农业大学植物营养系网室。

1.3 测定方法

土壤pH用电极法,有机质采用重铬酸钾外加热法,交换态锰用1mol/L中性NH₄OAc溶液提取,活性锰采用1mol/L中性NH₄OAc-0.2%苯酚溶液提取,DTPA-Mn采用0.005 mol/L DTPA(pH 7.3)混合液提取,植株全锰含量用高氯酸-硝酸消化,各形态锰的含量均用原子吸收分光光度计测定,以上各法详见《土壤农化分析》^[9]。所有数据均用SAS软件统计检验。

2 结果与分析

2.1 不同处理对小麦、燕麦缺锰症状的影响

日常观察发现(表1),小麦在第4片叶完全展开的时候开始出现缺锰症状,以后症状不断加重,在第6片叶完全展开的时候(4月7日~12日)表现最严重,随后症状逐渐减轻。其中以川麦28最明显,表现为:叶片披散黄化、中下部叶片倒伏严重,在刚刚完全展开叶片的中部叶脉间靠近叶缘部位出现黄斑,整个叶片呈萎蔫状态。3种不同分隔方式中以完全分隔处理最为严重,不分隔处理无黄斑出现,只有轻度的叶片黄化、披散、萎蔫和倒伏等症状;3种间作组合间缺锰症状无明显差异。9023缺锰症状表现同川麦28,但程度较轻。随着高峰期过后,两小麦品种叶色逐渐转绿,黄斑逐渐消失。但在整个生长期3个燕麦品种均没有表现缺锰症状。

表1 根系不同分隔方式处理下小麦和燕麦缺锰症状表现

Table 1 Mn-deficient symptoms of wheat and oat cultivars as affected by root barriers

日期 Date	处理 Treatment	小麦 Wheat		燕麦 Oat		
		川麦 28 Chuanmai28	9023	坝蓂 1 号 Bayou 1	坝蓂 3 Bayou 3	冀张蓂 4 号 Jizhangyou 4
3月31日 Mar.31	完全分隔 Solid barrier	++	+	0	0	0
	尼龙网分隔 Mesh barrier	+	+	0	0	0
	不分隔 No barrier	0	0	0	0	0
4月10日 Apr.10	完全分隔 Solid barrier	+++	++	0	0	0
	尼龙网分隔 Mesh barrier	++	+	0	0	0
	不分隔 No barrier	+	0	0	0	0
4月22日 Apr.22	完全分隔 Solid barrier	++	+	0	0	0
	尼龙网分隔 Mesh barrier	+	0	0	0	0
	不分隔 No barrier	0	0	0	0	0

0 生长正常,无明显缺锰症状 Represent no Mn-deficient symptom; + 轻度缺锰 Slight Mn-deficient symptom; ++ 中度缺锰 Medium Mn-deficient symptom; +++ 严重缺锰 Serious Mn-deficient symptom

2.2 不同处理对小麦、燕麦地上部植株干重的影响

从表2可知,根系不同分隔方式对两小麦品种地上部干重的影响都达到显著性差异水平。其中川麦28的干重,不分隔处理和尼龙网分隔处理均显著高于完全分隔处理,分别高出41%和28%;9023的干重,不分隔处理显著高于完全分隔处理,达到34%。根系不同分隔方式对燕麦干重的影响虽然均达到显著差异,但与小麦的表现恰好相反。坝蓂1号和冀张蓂4号完全分隔处理均显著高于尼龙网分隔处理和不分隔处理,达到10%左右,而坝蓂3号的干重,以完全分隔处理和尼龙网分隔处理显著高于不分隔处理,分别高出25.3%和10.4%。然而,根系不同分隔方式对系统地上部总干重的影响,则以不分隔处理显著高于尼龙网分隔处理和完全分隔处理,分别高出6.8%和8.1%。

从不同间作组合对小麦、燕麦地上部干重的影响(表3)来看,在川麦28的3种间作组合中,对川麦28地上部干重,以川麦28/坝蓂3号间作的显著高于川麦28/坝蓂1号、川麦28/冀张蓂4号间作的,达到11.3%;而此间作组合下坝蓂3号地上部干重显著低于川麦28/坝蓂1号、川麦28/冀张蓂4号间作组合处理各燕麦的地上部干重,低出15.4%。但在9023的3种间作组合中,均以9023/冀张蓂4号间作时,9023和冀张蓂4号的地上部干重最高。

2.3 不同处理对燕麦、小麦地上部植株锰含量的影响

表 2 中列出了根系不同分隔方式对小麦、燕麦地上部植株锰含量的影响。对川麦 28 锰含量而言,根系完全分隔处理显著高于尼龙网分隔处理和不分隔处理,分别高出 10.8%和 6.7%;而对 9023 来说,根系完全分隔处理和不分隔处理均显著高于尼龙网分隔处理,达到 14.9%和 10.4%;但 3 个燕麦品种地上部植株锰含量则以尼龙网分隔处理最低,不分隔和完全分隔处理之间无显著差异。

从不同间作组合对小麦、燕麦地上部植株锰含量的影响(表 3)来看,在川麦 28 的三种间作组合中,均以川麦 28/坝攸 1 号间作时,川麦 28 和坝攸 1 号地上部植株锰含量显著高于川麦 28/冀张攸 4 号间作时川麦 28 和冀张攸 4 号的,分别高出 6.4%和 14.4%。而对 9023 地上部锰含量来说,与 3 个燕麦品种间作对其无明显影响;但坝攸 3 号地上部锰含量显著高于坝攸 1 号和冀张攸 4 号,高幅分别达 10.1%、13.7%。

表 2 根系不同分隔方式对系统地上部植株干重、锰含量和吸锰量的影响

Table 2 Shoot dry weight, Mn concentration and Mn uptake of wheat and oat crops as affected by root barriers					
项目 Item		处理 Treatment	完全分隔 Solid barrier	尼龙网分隔 Mesh barrier	不分隔 No barrier
干重 Dry weight(g·pot ⁻¹)	小麦 Wheat	川麦 28 Chuanmai28	2.76c	3.52b	3.90a
		9023 9023	3.04b	3.23b	4.11a
	燕麦 Oat	坝攸 1 号 Bayou 1	4.19a	3.85b	3.81b
		坝攸 3 号 Bayou 3	3.96a	3.49b	3.16c
		冀张攸 4 号 Jizhangyou 4	4.17a	3.86b	3.79b
总干重 Total dry weight (g·pot ⁻¹)			7.01b	7.10b	7.58a
锰含量 Mn concentration (mg·kg ⁻¹)	小麦 Wheat	川麦 28 Chuanmai28	14.4a	13.0b	13.5b
		9023 9023	15.4a	13.4b	14.8a
	燕麦 Oat	坝攸 1 号 Bayou 1	19.1a	17.4b	19.0a
		坝攸 3 号 Bayou 3	19.7ab	19.1b	21.1a
		冀张攸 4 号 Jizhangyou 4	17.0ab	16.2b	17.8a
吸锰量 Mn uptake (μg·pot ⁻¹)	小麦 Wheat	川麦 28 Chuanmai28	39.7c	45.7b	52.5a
		9023 9023	46.5b	43.3b	60.8a
	燕麦 Oat	坝攸 1 号 Bayou 1	79.9a	66.4c	72.9b
		坝攸 3 号 Bayou 3	78.0a	66.7b	66.7b
		冀张攸 4 号 Jizhangyou 4	70.5a	62.4b	67.4a
总吸锰量 Total uptake(μg·pot ⁻¹)			119.2b	109.5c	125.5a

同一行不同字母间表示不同间作隔网方式差异达 5% 显著水平 Values within one row followed by different letters were significantly different at 5% level

表 3 不同间作组合对系统地上部植株干重、锰含量、吸锰量和土壤 DTPA-Mn 含量的影响

Table 3 Dry weight, Mn concentration, Mn uptake in the shoots of system crops and soil DTPA-Mn content as affected by different intercropping combination

作物 Crop		间作组合 Intercropping combination					
		川麦 28/坝攸 1 Chuanmai28/ Bayou1	川麦 28/坝攸 3 Chuanmai28/ Bayou3	川麦 28/冀张攸 4 Chuanmai28/ Jizhangyou4	9023/坝攸 1 9023/ Bayou1	9023/坝攸 3 9023/ Bayou3	9023/冀张攸 4 9023/ Jizhangyou4
干重 Dry weight(g·pot ⁻¹)	小麦 Wheat	3.27b	3.64a	3.27b	3.10c	3.50b	3.78a
	燕麦 Oat	4.11a	3.50b	4.04a	3.79a	3.57b	3.84a
锰含量 Mn concentration (mg·kg ⁻¹)	小麦 Wheat	14.15a	13.43ab	13.30b	14.79a	14.77a	13.94a
	燕麦 Oat	19.12a	20.29a	16.71b	17.86b	19.66a	17.29b
吸锰量 Mn uptake(μg·pot ⁻¹)	小麦 Wheat	46.31a	48.51a	43.10b	46.06b	51.79a	52.73a
	燕麦 Oat	78.52a	71.10b	67.23b	67.60a	69.86a	66.30a
土壤 DTPA-Mn 含量 Soil DTPA-Mn content(mg·kg ⁻¹)	小麦 Wheat	2.3a	2.2a	2.2a	2.4a	2.5a	2.5a
	燕麦 Oat	3.2a	3.2a	3.2a	3.1a	3.1a	3.1a

同一行不同字母间表示不同间作隔网方式差异达 5% 显著水平 Values within one row followed by different letters were significantly different at 5% level

另外,两种作物比较,无论是根系不同隔网方式(表 2)还是不同间作组合处理(表 3),3 个燕麦品种(系)

地上部植株的锰含量均显著高于两个小麦品种(系)的,说明在同样的土壤条件下,燕麦能活化、吸收更多的土壤有效锰。

2.4 不同处理对燕麦、小麦地上部植株吸锰量的影响

从表 2 可以看出,3 个处理方式之间川麦 28 地上部吸锰量均达到显著性差异,其中不分隔处理显著高于尼龙网分隔处理和完全分隔处理,每盆分别高出 $6.8 \mu\text{g}$ 和 $12.8 \mu\text{g}$; 9023 地上部植株吸锰量则以不分隔处理显著高于完全分隔和尼龙网分隔,每盆分别高出 $14.3 \mu\text{g}$ 和 $17.5 \mu\text{g}$ 。总的来说,燕麦地上部植株吸锰量均以完全分隔处理显著高于尼龙网分隔处理,达到 $8.1 \sim 13.5 \mu\text{g}$ 。但就每盆总吸锰量来看(表 2),3 个处理方式之间均达到显著性差异,不分隔处理和完全分隔处理分别比尼龙网分隔处理高出 $16.0 \mu\text{g}$ 和 $9.7 \mu\text{g}$ 。

从表 3 可以看出,在川麦 28 的 3 种间作组合中,无论是对川麦 28 还是对燕麦的地上部吸锰量,均以川麦 28/坝攸 1 号间作时最高,显著高于川麦 28/冀张攸 4 号间作的,每盆分别高出 $3.21 \mu\text{g}$ 和 $11.29 \mu\text{g}$,这与锰含量的结果一致。而在 9023 的 3 种间作组合中,以 9023/坝攸 3 号和 9023/冀张攸 4 号间作时 9023 地上部吸锰量显著高于 9023/坝攸 1 号间作的,每盆分别达到 $5.73 \mu\text{g}$ 、 $6.67 \mu\text{g}$;与 9023 间作对 3 个燕麦品种地上部吸锰量的影响无显著性差异。

2.5 不同处理对土壤 DTPA-Mn 含量的影响

从表 4 可知,根系不同分隔方式处理对川麦 28 土壤 DTPA-Mn 含量的影响不大;而 9023 则以完全分隔处理显著高于尼龙网分隔处理和不分隔处理,分别高出 16.7% 、 21.7% ;3 个燕麦品种呈现相同趋势,均以完全分隔处理和尼龙网分隔处理显著高于不分隔处理,平均高出 6.7% 左右。

表 3 结果表明,不同间作组合对小麦、燕麦土壤 DTPA-Mn 含量均无显著性影响。

总体来看,种植燕麦的土体,其土壤 DTPA-Mn 含量普遍高于种植小麦的土体,平均高出 34% (表 3、表 4)。

表 4 根系不同分隔方式对土壤 DTPA-Mn 的影响

Table 4 DTPA-Mn contents in the soils as affected by root barriers ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

处理 Treatment	小 麦 Wheat		燕 麦 Oat		
	川麦 28 Chuanmai 28	9023	坝攸 1 号 Bayou 1	坝攸 3 号 Bayou 3	冀张攸 4 号 Jizhangyou 4
完全分隔 Solid barrier	2.2a	2.8a	3.2a	3.2ab	3.2a
尼龙网分隔 Mesh barrier	2.3a	2.4b	3.2a	3.3a	3.2a
不分隔 No barrier	2.3a	2.3b	3.0b	3.1b	3.0b

同一列不同字母间表示不同间作隔网方式差异达 5% 显著水平 Values within one column followed by different letters were significantly different at 5% level

3 讨论

燕麦和小麦都是对锰需要很敏感的作物,两者缺锰临界值都差不多($15 \sim 20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)^[9],本试验中尽管小麦、燕麦植株体内锰含量都在 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下,但通过缺锰症状观察发现,整个试验中仅小麦在生育期间出现了缺锰症状,可能是由于该试验中采用的 3 个燕麦品种的耐缺锰能力较两小麦品种强的缘故;川麦 28 的缺锰症状比 9023 的要严重,说明前者的耐缺锰能力不如后者。

许多研究表明^[1, 10, 11],小麦缺锰与气候有很大关系,低温容易诱导缺锰,因为低温条件下小麦根系活化、吸收锰的能力降低,由锰激活的多种酶活性也显著性降低。因此在本试验中,小麦在后期(第 6 片叶完全展开的时候)症状逐渐消失,可能就是由于后期温度升高,小麦根系活化、吸收锰的能力以及由锰激活的多种酶活性增强所致。

根系不同分隔方式对地上部干重影响,无论是小麦还是燕麦,都出现显著差异。本试验结果表明(表 2),两个小麦品种地上部干重,不分隔处理显著高于完全分隔处理,且有一致性趋势即不分隔 > 尼龙网分隔 > 完全分隔;而各燕麦品种都以完全分隔处理显著高于不分隔处理,趋势则与小麦的相反,说明燕麦确实能促进小麦生长,但这种促进作用是以牺牲燕麦自身的生长为代价的。这与 Gardner 和 Boundy^[8]在白羽扇豆/小麦混作的试验结果一致。李隆等在小麦/大豆间作^[12]、小麦/玉米间作^[13]、肖炎波等^[14]在小麦/蚕豆间作中的结果亦

表明:在以小麦为主的各种间作体系中,小麦具有强竞争能力,相对于间作作物可以获得更多的养分资源。本试验结果也表明,在缺锰条件下竞争能力强的小麦能从与之间作的燕麦那里获得好处。但值得注意的是,根系不同分隔方式对系统内总生物量的影响(表 2),仍以不分隔处理显著高于另两个处理,说明根系不分隔时,尽管存在着小麦、燕麦之间的竞争作用,但根系的生长空间扩大了一倍,因而促进了整个系统的生产力。

通过日常观察发现,川麦 28 的缺锰症状较 9023 和其他 3 个燕麦品种要严重的多,而就地上部植株锰含量来看,差异不明显,说明地上部植株的锰含量虽然能在一定程度上反映植株的锰营养状况,但不能作为不同小麦品种耐缺锰能力的鉴定指标^[4]。表 2 结果还反应出,小麦地上部植株体内锰含量以完全分隔处理高于不分隔和尼龙网分隔处理,与地上部干重的结果正好相反,这可能与间作/混作小麦生长得到改善后引起体内锰浓度的相对“稀释”有关。植株地上部吸锰量是干重和锰含量共同作用的结果,在本试验中(表 2)干重就起到主要作用,两小麦品种均以不分隔处理显著高于完全分隔处理,燕麦的结果与小麦的相反,但整体趋势还是与干重的结果相一致。

Bromfield^[6]的试验发现燕麦的根洗脱液可以通过还原作用活化 MnO_2 ; Gardner 小组的研究结果也表明,白羽扇豆根系的淋洗液溶解 MnO_2 的数量比原土体高出数十倍^[7],白羽扇豆/小麦混播条件下,白羽扇豆通过根系分泌物还原活化土壤锰氧化物来促进了小麦对锰的吸收,而且白羽扇豆播种量越大,小麦地上部锰含量越高^[8]。综合前人的这些研究结果,推测本试验中间/混作条件下小麦生长和锰营养的改善可能与燕麦通过根系分泌物来活化土壤难溶性的锰氧化物、提高土壤有效锰含量有密切关系。同时,燕麦因竞争不过小麦而削弱了自身生长,影响了自身地上部对锰的吸收,导致燕麦地上部吸锰量也以根系完全分隔处理显著高于根系不分隔处理的结果。关于燕麦如何通过根系分泌物来活化土壤锰氧化物的机制还有待于进一步研究。Gardner 和 Boundy 还发现^[8],无论在小钵钵环境还是田间环境,小麦地上部锰含量均以白羽扇豆/小麦混作显著高于小麦单作。这也间接说明本试验条件下所得结果并非是因为盆钵体积和土体不够导致根系富集所致。

从收获后土壤 DTPA-Mn 含量来看(表 3、表 4),根系不同分隔方式对此指标没有太大影响。但是种植燕麦后土壤的 DTPA-Mn 含量要显著高于种植小麦后的土壤(平均高出 34%),这与地上部植株锰含量和吸锰量的结果相吻合,进一步反映了该试验条件下燕麦活化、吸收土壤有效锰的能力比小麦要强,这也是在燕麦/小麦间作体系中燕麦能够改善小麦锰营养的基础。需要指出的,相对而言,本研究所用的 3 个燕麦品种在促进小麦生长、还原活化土壤难溶态锰进而改善小麦锰营养的能力方面无显著差异。

References:

- [1] Hu S N, Hua W Q, Lu M, *et al.* An experimental study on manganese fertilizer application in Wenjiang region. Turang, 1981, 3 (1): 100 ~ 103.
- [2] Nayyar V K, Sadana U S, Takkar T N. Methods and rates of application of Mn and its critical levels for wheat following rice on coarse textured soils. Fertilizer Research, 1985, 8: 173 ~ 178.
- [3] Liu X J, Zeng X Z, Lü S H, *et al.* Effects of Mn application periods on Mn nutrition and grain yield of different wheat genotypes. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2001, 14 (4): 39 ~ 43.
- [4] Fang Z, Lü S H, Zhang F S. Study on tolerance of different wheat cultivars or lines to manganese deficiency. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4 (3): 277 ~ 283.
- [5] Lü S H, Zeng X Z, Liu X J, Zhang F S. Effects of root penetration restriction on growth and Mn nutrition of different winter wheat genotypes in paddy soils. Agricultural Science in China, 2002, 1 (6): 667 ~ 673.
- [6] Bromfield S. M. The effect of manganese oxidizing bacteria and pH on the availability of manganous ions and manganese oxides to oats in nutrient solutions. Plant and Soil, 1958, 49: 23 ~ 39.
- [7] Gardner W K, Parbery D G, Barber D A. The acquisition of phosphorus by *Lupine albus* L. I. Some characteristics of the soil/root interface. Plant and Soil, 1982, 68: 19 ~ 32.
- [8] Gardner W K, Boundy K A. The acquisition of phosphorus by lupines albus L. IV. The effect of interplanting wheat and white lupine on the growth and mineral composition of the two species. Plant and Soil, 1983, 70: 391 ~ 402.
- [9] Qing H Y. Manganese Measurement in Plant. In: Nanjing Agricultural University ed. Methods of Soil Chemical Analysis. Beijing, Agricultural Press, 1992. 225 ~ 226.

- [10] Lu S H, Xu Y X, Hu S N. Effect of manganese on paddy soil conditions of manganese deficiency on wheat. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 1990, 3: 87 ~ 91.
- [11] Lu S H, Zhang Y L, Liu X J, *et al.* Effect of environmental condition Mn deficiency of different wheat varieties. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9 (2): 159 ~ 162.
- [12] Li L, Yang S C, Sun J H, *et al.* Interspecific competition and facilitation in wheat/soybean intercropping system. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10 (2): 197 ~ 200.
- [13] Li L, Jin S L, Zhang L H, *et al.* Characteristics of light resource capture, utilization and dry matter accumulation in wheat/maize strip intercropping. *Acta Univ. Agric. Boreali-occidentalis*, 1996, 24 (5): 42 ~ 48.
- [14] Xiao Y B, Li L, Zhang F S. Nitrogen complementary use in intercropped wheat and faba bean. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 9 (4): 396 ~ 400.

参考文献:

- [1] 胡思农, 华文清, 卢明, 等. 温江地区小麦锰肥试验研究. *土壤*, 1981, 13(3): 100 ~ 103.
- [3] 刘学军, 曾祥忠, 吕世华, 等. 施锰时期对不同基因型小麦锰营养及产量的影响. *西南农业学报*, 2001, 14(4): 39 ~ 43.
- [4] 方正, 吕世华, 张福锁. 不同小麦品种(品系)耐缺锰能力的比较研究. *植物营养与肥料学报*, 1998, 4 (3): 277 ~ 283.
- [9] 秦怀英. 植物锰的测定. 见: 南京农业大学主编. *土壤农化分析* (第二版). 北京, 农业出版社, 1992, 225 ~ 226.
- [10] 吕世华, 许怡心, 胡思农. 冲积性水稻土壤锰特征与小麦缺锰的土壤条件. *西南农业学报*, 1990, 3: 87 ~ 91.
- [11] 吕世华, 张云龙, 刘学军, 等. 环境条件对不同品种小麦缺 Mn 的影响. *应用生态学报*, 1998, 9(2): 159 ~ 162.
- [12] 李隆, 杨思存, 孙建好, 等. 小麦/大豆间作中作物种间的竞争作用和促进作用. *应用生态学报*, 1999, 10(2): 197 ~ 200.
- [13] 李隆, 金绍龄, 张丽慧, 等. 小麦/玉米带田中光捕获、利用及干物质积累特点. *西北农业大学学报*, 1996, 24(5): 42 ~ 48.
- [14] 肖焱波, 李隆, 张福锁. 小麦//蚕豆间作中的种间氮营养差异比较研究. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(4): 396 ~ 400.