

施氮水平对间作蚕豆锰营养及叶赤斑病发生的影响

鲁耀^{1, 2}, 郑毅^{1*}, 汤利¹, 赵平¹, 董艳¹, 段宗颜², 张福锁³

(1 云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201; 2 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明 650205;

3 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

摘要: 通过田间小区试验, 研究了蚕豆/小麦间作条件下 4 种施氮水平 (N 0、45、90、135 kg/hm²) 对蚕豆锰营养和叶赤斑病的影响。结果表明: 在 4 种施氮水平下, 间作蚕豆与单作相比, 蚕豆产量、根际土壤交换锰含量及分枝期蚕豆叶中锰浓度均有显著增加, 其中产量提高 49.16%~87.77%, 根际土壤交换锰含量提高 16.27%~35.25%, 分枝期蚕豆叶中锰浓度分别提高 4.98%~27.75%。间作条件下, 施氮也能显著提高蚕豆产量、开花期蚕豆根际土壤交换锰含量和分枝期、成熟期蚕豆叶中锰的浓度, 其中施氮 90 kg/hm² 时最佳。在发病盛期, 间作蚕豆叶赤斑病发病率和病情指数分别比单作降低了 15.75% 和 1.5%, 而且与蚕豆叶中锰浓度均有极显著的负相关性, 相关系数分别为 -0.9399 和 -0.8751; 同时高氮 (N 135 kg/hm²) 和常规施氮 (N 90 kg/hm²) 处理蚕豆叶发病率和病情指数均高于低氮 (N 45 kg/hm²) 和不施氮 (N 0 kg/hm²) 处理。

关键词: 施氮水平; 间作蚕豆; 锰营养; 蚕豆叶赤斑病

中图分类号: S643.6; S436.43

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2010)02-0425-07

Effects of nitrogen application on manganese nutrition and occurrence of leaf spots of intercropped faba beans

LU Yao^{1, 2}, ZHENG Yi^{1*}, TANG Li¹, ZHAO Ping¹, DONG Yan¹, DUAN Zong-yan², ZHANG Fu-suo³

(1 College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2 Agricultural Resources and Environment Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China;

3 College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: Effects of different nitrogen application ratios (N 0, 45, 90 and 135 kg/ha) on manganese nutrition and leaf spots of faba bean in wheat and faba bean intercropping ecosystem were studied by using the field plot experiments at Yanhe town, Yuxi city, Yunnan Province during the 2005–2006 winter growing seasons. The results indicate that the faba bean yield, NH₄OAc–Mn content in rhizosphere soils and manganese concentration in leaves of intercropped faba bean are significantly increased by 49.16%–87.77%, 16.27%–35.25% and 4.98%–27.75% respectively under four different nitrogen application rates compared to those in monocropping. NH₄OAc–Mn content in rhizosphere soils at flowering stage and manganese concentration in leaves at branching stage are significantly increased under the nitrogen application rates (N 45, 90 and 135 kg/ha) compared to the no-N application under the intercropping system, and the optimal nitrogen fertilization rate is 90 kg/ha. The incidence and index of leaf spots of intercropped faba bean are reduced by 15.75% and 1.5% at the maximum occurrence stage compared to those in monocropping. There are significant negative correlations between manganese concentration in leaves, and the incidence and the index of leaf spots (the correlation coefficients: -0.9399 and -0.8751 respectively). The occurrence of leaf spots are increased under higher nitro-

收稿日期: 2009-03-04 接受日期: 2009-07-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(30860157); 国家“973”计划前期研究专项(2008CB117011); 公益性行业专项(200803030); 国家科技支撑计划(2006BAD05B06-04)资助。

作者简介: 鲁耀(1974—), 男, 河南沈丘人, 助理研究员, 硕士, 主要从事土壤肥料、植物营养与农业环境方面的研究。

Tel: 0871-5893197, E-mail: lu2005yn@126.com。* 通讯作者 E-mail: yzheng@ynau.edu.cn

gen application (N 90 and 135 kg/ha), compared with that under lower nitrogen application (N 45 and 0 kg/ha).

Key words: nitrogen application; intercropped faba bean; manganese nutrition; leaf spots of faba bean

云南省是蚕豆的主要产区,种植面积和总产均占全国的 1/3 多^[1],但近年来蚕豆赤斑病的发生呈逐年加重的趋势,特别是早蚕豆发病更为严重,给蚕豆生产造成较大损失。小麦是云南省和蚕豆同季种植的主要小春作物,由于生物多样性种植能抑制作物病害的发生,小麦和蚕豆间作已成为云南省常见的种植模式。研究表明,小麦蚕豆间作不仅能减轻小麦锈病^[2]、小麦白粉病^[3]及蚕豆赤斑病^[4]的发生,还有明显的氮吸收^[5]及互补利用优势^[6],磷、钾吸收总量通常也比单作高^[2-4],小麦蚕豆产量优势也极为突出^[7]。但关于小麦蚕豆间作条件下养分吸收利用方面的研究,仍仅限于氮、磷、钾,有关作物锰和根际土壤锰的研究报道较少。同时研究表明,锰可以通过本身的毒性或改变毒性来直接影响病原菌或通过根系分泌物的代谢改变来间接影响,从而直接或间接影响植物病害的发生^[8]。那么,小麦蚕豆间作减轻蚕豆赤斑病是否与锰的营养有关呢,为此,本文通过田间小区试验研究小麦蚕豆间作及不同施氮水平对蚕豆锰营养和赤斑病控制的影响,并进一步分析了两者的关系,以期探寻小麦蚕豆间作的抗病机理,为间作作物的养分高效吸收和利用,提高产量提供理论依据和生产指导。

1 材料和方法

1.1 试验地基本情况

试验在云南省玉溪市红塔区研和镇玉溪农业职业技术学院试验田进行,地处云南省中部,北纬 24°18′、东经 102°27′,海拔 1650 m。属中亚热带半湿润冷冬高原季风气候,年平均气温 16.5℃,极端最高气温 30.8℃,极端最低气温 0.3℃;全年日照 2267 h,日照率 51%;年均降雨量 957.1mm,主要集中在每年 5 月—10 月,11 月—4 月为旱季,因此,小春作物种植和生长主要依靠灌溉水。

供试土壤为水稻土,土壤有机质含量 16.6 g/kg、全氮 1.59 g/kg、碱解氮 114.70 mg/kg、速效钾 257.20 mg/kg、速效磷 56.00 mg/kg、 $\text{NH}_4\text{OAc}-\text{Mn}$ 3.24 mg/kg、pH 7.82,前茬为烤烟。

1.2 试验设计与管理

试验为裂区组设计,主区为种植模式,设蚕豆单作和蚕豆小麦间作;副区为氮肥水平,设 4 个氮水平为 1) N 0 kg/hm² (N₀, 对照)、2) N 45 kg/hm²

(N₄₅, 常规施氮的 1/2)、3) N 90 kg/hm² (N₉₀, 常规施氮)、4) N 135 kg/hm² (N₁₃₅, 常规施氮 3/2)。每个处理 3 次重复,小区面积 3.52 × 5.8 = 20.5m²,共 24 个小区,田间随机排列。每个处理均施 P₂O₅ 75 kg/hm²。氮肥为尿素 (N 46.4%),磷肥为普钙 (P₂O₅ 16%),均作为基肥一次施用,在播种前全部开沟与土壤混合;间、单作蚕豆施肥量一致。按农户常规的作物规范化栽培措施进行肥水管理,其中减少农药的施用量和施用次数。

1.3 作物种植

间作小区内作物种植规格为 6 行小麦—2 行蚕豆,循环 3 个种植带,3 个种植带分别作采样区、病害调查区和测产区。小麦行间距 0.2 m,麦豆行间距 0.3 m,蚕豆行间距 0.3 m,株间距 0.15 m,每行 25 株。单作蚕豆种植规格为每小区种 19 行,相应地也分为 3 个种植带分别作采样区、病害调查区和测产区,每行定植数、株间距、行间距均和间作相同。

供试作物及品种小麦为 F-42,蚕豆为玉溪大粒豆。均于 2005 年 10 月 19 日播种,小麦播量 150 kg/hm²,蚕豆定植量 23 × 10⁴ 株/hm²,称量到各个小区进行行播;2006 年 4 月 13 日收获,在特定测产区实收进行间、单作蚕豆测产,再根据蚕豆实际占地面积折算单位面积产量。

1.4 采样及病害调查

在蚕豆生育期的分枝期、开花期、结荚期、膨大期、成熟期 5 次采集植株样及其根际土壤样品。其中植株根、茎和叶分别烘干制样,根际土壤采用“抖土法”抖掉与根系松散结合的土体土,然后将与根系紧密结合的土壤刷下来,再利用“四分法”,留取 0.5 kg 作为根际土壤样品。

分别在蚕豆分枝期、开花期、结荚期,在小区内按“S”型进行蚕豆植株叶赤斑病的定点调查,每小区调查 5 株,记载蚕豆叶赤斑病的总叶数、病叶数和各级病叶数,计算叶病情指数。

叶病分级标准为:0 级,无病;1 级,叶面有少数病斑;2 级,叶面病斑占叶面积的 1/4—1/2;3 级,叶面病斑占叶面积的 1/2—3/4;4 级,叶面病斑占叶面积的 3/4 以上;5 级,叶片枯死脱落^[9]。

计算公式:

发病率 (%) = 发病叶数 / 调查叶数 × 100;

病情指数 (%) = $\sum$ (各病级叶数 × 该病级值) /

叶数总和 $\times$ 发病最重级代表数值 $\times 100$ 。

1.5 测定项目与方法

蚕豆根际土交换锰含量采用 $1\text{ mol/L NH}_4\text{OAc}$ ($\text{pH} = 7.0$) 浸提—原子吸收分光光度计法; 蚕豆叶中锰浓度测定采用马氟炉 $550^\circ\text{C} \pm 25^\circ\text{C}$ 灰化 $7 \sim 8\text{ h}$, 5.8 mol/L 盐酸溶解—原子吸收分光光度计法^[10]。

试验数据采用 EXCEL 和 SAS 9.0 数据统计分析软件进行多重比较和相关分析。

2 结果与分析

2.1 施氮水平及间作对蚕豆产量的影响

由表 1 可见,在 N_0 、 N_{45} 、 N_{90} 、 N_{135} 四种施氮水平下,间作蚕豆产量均显著大于单作,间作蚕豆产量比单作分别提高 49.16% 、 63.53% 、 87.77% 和 60.79% ,平均提高 64.81% ; 其中,常规施氮水平下 (N_{90}) 蚕豆产量间作增产效应最大。不同施氮水平之间蚕豆产量相比较,单作条件下没有差异,间作条件下有一定差异,高低依次是 $N_{90} > N_{45} > N_0 >$

N_{135} ,而且常规施氮时的 (N_{90}) 蚕豆产量显著高于高施氮 (N_{135}) 和不施氮 (N_0) 条件下。由此可见,小麦蚕豆间作对蚕豆产量有很大的影响,不仅有直接的影响,而且通过影响氮的利用效率间接影响蚕豆产量; 施氮水平对蚕豆产量的影响较小。

2.2 施氮水平及间作对蚕豆根际土壤交换锰 ($\text{NH}_4\text{OAc-Mn}$) 及叶中锰浓度的影响

图 1 表明,在 N_0 、 N_{45} 、 N_{90} 、 N_{135} 四种施氮水平下间作蚕豆根际土壤交换锰含量显著高于单作,整个生育期内,间作蚕豆根际土壤交换锰含量平均比单作蚕豆分别提高了 35.25% 、 21.41% 、 16.27% 和 18.76% ,其中不施氮时 (N_0) 差异最为显著,而随着施氮水平提高,差异显著性降低。从不同生育期来看,不同施氮水平对蚕豆根际土壤交换锰含量的影响最为显著的是开花期, N_{45} 、 N_{90} 、 N_{135} 处理条件下蚕豆根际土壤交换锰含量平均比 N_0 处理分别提高 17.94% 、 38.61% 和 23.57% 。

表 1 蚕豆产量比较 ($\times 10^3\text{ kg/hm}^2$)

Table 1 The yield comparison of faba beans

处理 Treatment	不同施氮水平 Nitrogen application level				平均值 Mean
	N_0	N_{45}	N_{90}	N_{135}	
单作 Monocropping	3.56 bA	3.51 bA	3.27 bA	3.29 bA	3.41 b
间作 Intercropping	5.31 aB	5.74 aAB	6.14 aA	5.29 aB	5.62 a
平均值 Mean	4.64 A	4.63 A	4.71 A	4.29 A	4.52 A

注(Note): 数值后小写英文字母 a、b 表示间、单作之间在 0.05 水平下的差异显著性 ($P < 0.05$); 数值后大写英文字母 A、B 表示不同施氮水平之间在 0.05 水平下的差异显著性 ($P < 0.05$)。In the table, the significant differences between monocropping and intercropping were separately described with the small letters a or b at 0.05 level, and the significant differences among different nitrogen application were separately described with the capital letters A or B at 0.05 level.

从表 2 可以看出,在 4 种不同施氮水平下,分枝期、开花期和成熟期间作蚕豆叶中锰的浓度平均比单作分别提高 12.53% 、 11.87% 和 8.49% ,且在分枝期,间作和单作蚕豆叶中锰浓度的差异达到了显著水平; 结荚期和膨大期差异不显著。不同施氮水平对蚕豆叶中锰浓度的影响主要表现在分枝期和成熟期,施氮水平在 $0 \sim 90\text{ kg/hm}^2$ 期间叶中锰浓度逐渐增加,到 $N_{135}\text{ kg/hm}^2$ 时反而降低,方差分析结果表明其差异达到了显著水平; 但在开花期、膨大期和结荚期差异不显著。

综上,小麦蚕豆间作能显著提高蚕豆根际土壤交换锰的含量,进而促进蚕豆叶对锰的吸收,提高蚕豆叶中锰的浓度; 施氮量对蚕豆锰营养的影响主要表现在生长早期(分枝期~开花期),在不施氮 (N_0)

到常规施氮 (N_{90}) 范围内,随着施氮量的增加,蚕豆根际土壤交换锰含量和叶中锰的浓度也会有一定程度的增加,但施氮量过多二者反而下降。

2.3 施氮水平及间作对蚕豆叶赤斑病的影响及相关分析

图 2 显示,在本试验条件下,蚕豆叶赤斑病发病较早,在分枝期~开花期进入发病盛期,而后发病率和病情指数逐渐降低,其中在发病盛期(分枝期~开花期)和中期(结荚期)间作蚕豆叶赤斑病发病率比单作蚕豆平均降低了 15.75% 、病情指数平均降低了 1.5% ,而后随着病斑消退,间、单作之间的发病差异消失。在发病盛期(分枝期~开花期),高氮 (N_{135}) 和常规施氮 (N_{90}) 条件下的蚕豆叶赤斑病发病率和病情指数均高于低氮 (N_{45}) 和不施氮 (N_0) 处理,

这种差异在结荚期随着蚕豆叶赤斑病逐渐消失而消失。进一步将蚕豆叶中锰的浓度和叶赤斑病进行相关分析,结果发现,随着蚕豆叶中锰浓度的增加,叶赤斑病的发病率和病情指数均逐渐降低,而且蚕豆

叶中锰浓度和蚕豆叶赤斑病的发病率和病情指数均表现有极显著的负相关,相关系数 r 分别达到了 -0.9196 和 -0.9229 (图 3)。

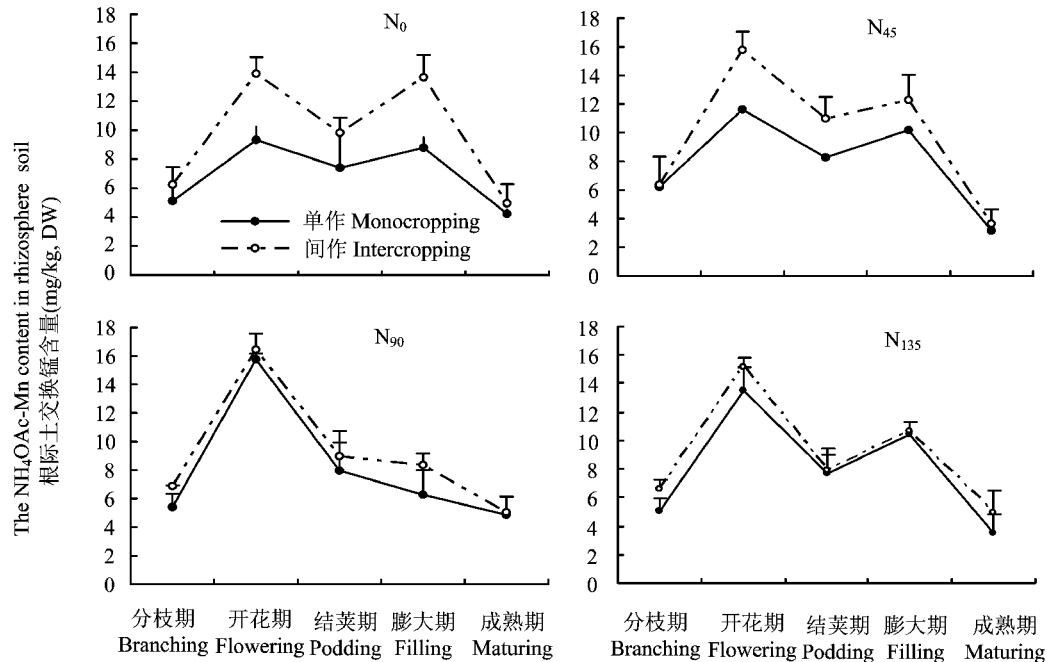


图 1 不同施氮水平下间、单作蚕豆不同生育期根际土壤交换锰含量比较

Fig.1 $\text{NH}_4\text{OAc-Mn}$ content comparison in the rhizosphere soil between intercropping and monocropping faba beans of different growth stages under different nitrogen application

表 2 蚕豆叶中锰的浓度比较 (mg/kg, DW)

Table 2 Manganese concentration comparison in leaves of faba beans

生育期 Development stage	处理 Treatment	不同施氮水平 Nitrogen application rate				平均值 Mean
		N_0	N_{45}	N_{90}	N_{135}	
分枝期 Branching	单作 Monocropping	120.79 aA	124.74 aA	126.54 bA	120.49 aA	123.01 b
	间作 Intercropping	127.77 aB	137.67 aAB	161.66 aA	126.49 aB	138.42 a
	平均值 Mean	124.28 B	131.21 AB	144.1 A	123.28 B	
开花期 Flowering	单作 Monocropping	180.74 aA	181.15 aA	171.61 aA	176.04 aA	177.39 a
	间作 Intercropping	199.58 aA	203.37 aA	196.91 aA	193.93 aA	198.45 a
	平均值 Mean	190.16 A	192.26 A	184.26 A	184.99 A	
结荚期 Podding	单作 Monocropping	212.77 aA	227.01 aA	184.68 aA	204.22 aA	201.17 a
	间作 Intercropping	182.36 aA	184.38 aA	179.74 aA	187.96 aA	183.61 a
	平均值 Mean	197.57 A	205.69 A	182.21 A	196.09 A	
膨大期 Filling	单作 Monocropping	255.73 aA	198.31 bA	227.57 aA	218.56 aA	225.04 a
	间作 Intercropping	188.39 aA	229.59 aA	198.85 aA	228.67 aA	211.37 a
	平均值 Mean	222.06 A	213.95 A	213.21 A	223.62 A	
成熟期 Maturing	单作 Monocropping	229.97 aAB	228.06 aAB	234.15 aA	177.19 bB	217.35 a
	间作 Intercropping	234.56 aA	239.18 aA	239.45 aA	230.00 aA	235.80 a
	平均值 Mean	232.27 AB	233.62 AB	236.80 A	203.60 B	

注 (Note): 数值后小写英文字母 a、b 表示间、单作之间在 0.05 水平下的差异显著性 ($P < 0.05$); 数值后大写英文字母 A、B 表示不同施氮水平之间在 0.05 水平下的差异显著性 ($P < 0.05$)。In the table, the significant differences between monocropping and intercropping were separately described with the small letters a or b at 0.05 level, and the significant differences among different nitrogen application were separately described with the capital letters A or B at 0.05 level.

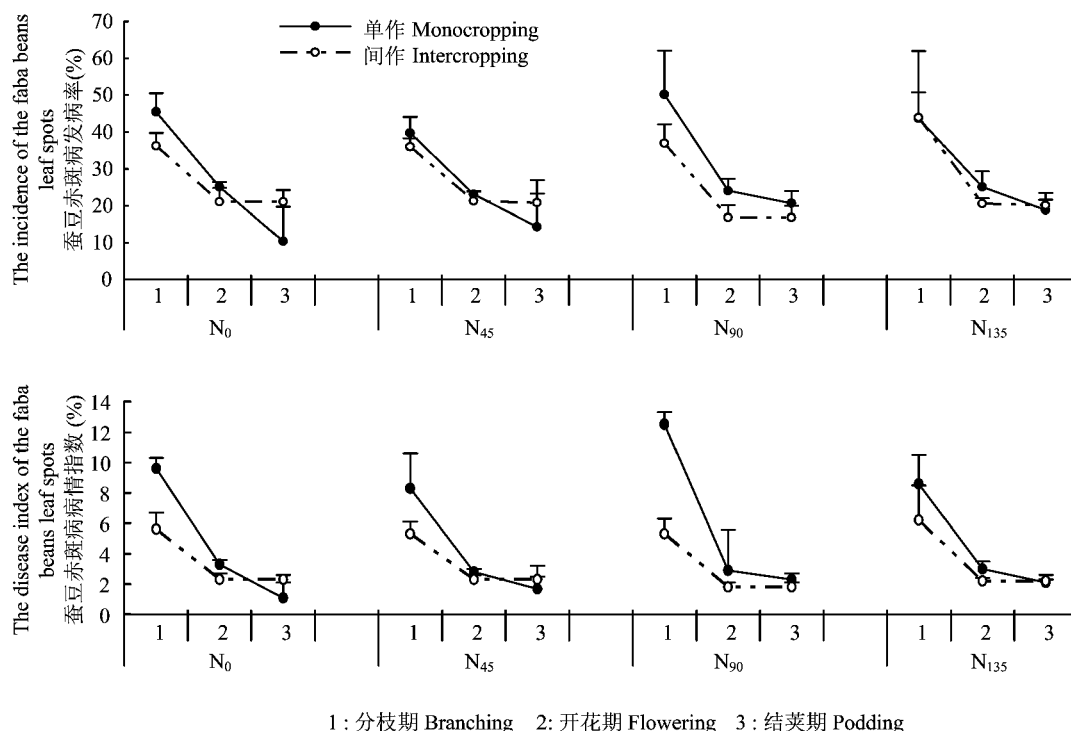


图2 蚕豆叶赤斑病发病率和病情指数比较

Fig.2 The disease incidence and index comparisons of faba beans leaf spots

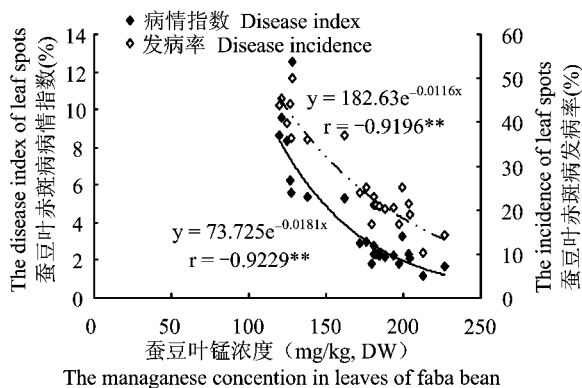


图3 蚕豆叶片锰浓度与叶赤斑病发病率、病情指数的关系

Fig.3 Correlations between manganese concentration in leaves and the incidence and disease index of faba beans leaf spots

[注(Notes): n = 24; * * 表示在 0.01 水平下差异极显著 ($P < 0.01$)
Means significant at 0.01 level]

3 讨论与结论

3.1 小麦蚕豆间作对蚕豆产量、锰营养及病害发生的影响

大量研究结果表明,小麦蚕豆间作产量优势突

出^[7],这是因为豆科和非豆科作物间作有光、热、气、水等自然资源利用优势^[11],能促进矿质养分的吸收利用^[12]。前期的一些试验结果表明^[13],在小麦蚕豆间作体系中,小麦蚕豆之间既存在互助又存在竞争,小麦具有竞争优势,因此,间作产量优势来自小麦大于来自蚕豆,个别甚至出现蚕豆减产的报道。本试验发现,间作蚕豆产量显著高于单作蚕豆,而间作小麦产量优势不明显,小麦蚕豆间作产量优势主要来自蚕豆,这与前人的研究结果并不一致。因此认为小麦蚕豆间作有产量优势是毫无疑问的,而优势是主要来自小麦还是蚕豆,与生产环境、栽培品种有密切关系,比如本试验中所用的蚕豆品种在株高上明显高于小麦,可能使蚕豆在光和热的竞争上处于优势,而小麦处于劣势。

同时,本试验结果还表明,小麦蚕豆间作提高了蚕豆根际土壤交换锰的含量及生长早期(分枝期~开花期)蚕豆叶中锰的浓度,原因可能是一方面通过小麦蚕豆间作促进蚕豆根瘤量的增加^[14],提高了固氮量^[15],使间作蚕豆根际土 pH 值降低,另一方面可能是通过小麦根系分泌物(如麦根酸类分泌物)^[16]对 Mn^{2+} 的螯合作用而提高了蚕豆根际土壤中锰的有效性,进而促进了蚕豆对锰的吸收。

合理间作有利于病害的控制^[17],在小麦蚕豆间作体系中也发现间作有利于小麦条锈病、小麦白粉病及蚕豆叶赤斑病的控制^[2-4]。本试验中,发病盛期(分枝期—开花期)间作蚕豆叶赤斑病发病率和病情指数均显著低于单作蚕豆,进一步验证了前人的试验结果。

3.2 施氮水平对蚕豆产量、锰营养及病害发生的影响

氮是影响植物生长、生殖、发育和作物品质、产量的重要因素,氮素施用的合理与否关系到能否达到“高产优质作物”的目的,大部分试验结果表明,在一定的施氮范围内,随施氮水平的提高,作物产量会增加,但本试验中,不同施氮水平对蚕豆产量并没有显著影响,这可能是豆科作物对施氮水平的反应并不像禾本科作物那么敏感,因为豆科作物可以通过根瘤固定空气中的氮,以调节自身对氮的需求量^[18]。因此,在实际农业生产中,种植豆科作物一般是很少施用氮肥的。

土壤交换锰是对植物有效的锰,能被植物立即吸收利用,其含量主要受土壤 pH 值的影响,一般随 pH 值增加而降低^[19]。本试验结果表明,生长早期(分枝期—开花期)和生长晚期(成熟期) NH_4^+-N (尿素)施用量较高(N_{135} 和 N_{90})比用量较低(N_0 和 N_{45})时蚕豆根际土壤交换锰含量和蚕豆叶中锰的浓度高,这是因为施入土壤的 NH_4^+-N 使土壤 H^+ 量增加, pH 值减小,土壤锰的有效性增加,植物对锰的吸收也相应提高;但整体来看,并不是施氮水平越高蚕豆根际土壤交换锰的绝对含量就越高,而是低氮(N_0 和 N_{45})高于高氮(N_{90} 和 N_{135})条件下。这与蚕豆根瘤固氮能力的季节性变化规律“两头小,中间大”有关,蚕豆根瘤数和固氮能力从苗期开始逐渐增加,到开花期达到高峰,结荚后根瘤衰老,固氮能力降低^[20]。因此,在生长早期(苗期—分枝期)和生长晚期(成熟期),根瘤固氮不能满足蚕豆生长发育的需要,需要适当施入氮肥,同时,蚕豆根际土壤有效氮含量和交换锰的含量主要受施氮水平的影响;而生长中期(盛花期—结荚期)随着前期施入氮肥的消耗和蚕豆根瘤数及固氮能力的快速增加达到高峰,蚕豆根际土壤有效氮和交换锰的含量应该主要决定于蚕豆根瘤数和固氮能力;而有研究也表明,施氮尤其是过量施氮会抑制蚕豆根瘤数和固氮能力^[20]。因此,蚕豆根际土壤交换锰的含量在生长早期和生长晚期主要受施氮水平影响,而生长中期主要受蚕豆根瘤数和固氮能力的影响。

合理施氮能够促进植物根系的发育和茎叶的生长,保持正常的光合作用而使作物保持绿色。如氮素不足,作物生长、发育会显著受阻;相反,施氮量过多会使作物木质素合成减少,作物徒长,茎叶软弱;又使质外体内氨基酸和酰胺等可溶性含氮化物增加,向叶片表面分泌量增加,而酚类物质合成减少,毒性降低,易受病菌侵染,抗病力下降^[21]。研究表明,小麦蚕豆间作体系中,随着施氮水平增加,小麦锈病和白粉病加重^[2-3]。本试验发现蚕豆叶赤斑病在发病盛期高氮水平(N_{135} 和 N_{90})比低氮水平(N_0 和 N_{45})下发病严重。

3.3 锰与植物病害发生的关系

锰是植物必需的微量营养元素,也是微生物生长的必需元素。锰通过产生抑制化合物或感染部位附近毒性锰的积累和病原体的不断吸收来直接影响植物病害^[8]。有文献报道,施铵态氮肥后,由于提高了土壤中锰的有效性,也降低了小麦全蚀病的危害程度^[22];有人在实验室中采用 PDA 培养基测定了锰对小麦全蚀病菌的抑菌效果,结果表明,锰浓度在 $0.2 \times 10^{-4} \text{ g/mL}$ 时的抑菌率为 21.33%,在 $0.4 \times 10^{-4} \text{ g/mL}$ 时抑菌率为 42.97%^[23]。本试验显示,间作及单作蚕豆叶中锰的浓度与叶赤斑病的发生有极显著的负相关性,从而说明小麦蚕豆间作有效控制蚕豆叶赤斑病的原因,有可能与间作提高蚕豆根际土壤锰的有效性和蚕豆叶中锰浓度有关。

综上所述,在蚕豆的生产中,减少氮肥投入通常并不会影响蚕豆产量,且从整个生育期来看有利于蚕豆对锰的吸收,还可以降低因大量施氮引起蚕豆叶赤斑病的发生;同时,通过小麦蚕豆间作能显著提高蚕豆产量,而且有利于蚕豆叶锰的吸收和叶赤斑病的控制。因此,在蚕豆叶赤斑病的高发区及严重缺锰的土壤上,减少氮肥投入或通过小麦蚕豆间作可以有效地控制蚕豆叶赤斑病的发生,至于通过施锰尤其是叶面喷施锰能否减轻蚕豆叶赤斑病的发生,尚待进一步研究。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国农业部. 中国农业统计资料[R]. 北京: 中国农业出版社, 2004. 47-48.
Ministry of Agriculture PRC. China agriculture statistical report[R]. Beijing: China Agriculture Press, 2004. 47-48.
- [2] 肖靖秀, 郑毅, 汤利, 等. 小麦蚕豆间作系统中的氮钾营养对小麦锈病发生的影响[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(5): 640-645.
Xiao J X, Zheng Y, Tang L *et al.* Effects of potassium and nitrogen

- supply on the occurrence of wheat rust in wheat and faba bean intercropping system[J]. J. Yunnan Agric. Univ., 2005, 20(5): 640-645.
- [3] Chen Y X, Zhang F S, Tang L *et al.* Wheat powdery mildew and foliar N concentrations as influenced by N fertilization and belowground interactions with intercropped faba bean [J]. Plant Soil, 2007, 291: 1-13.
- [4] 周桂凤,肖靖秀,郑毅,等. 小麦蚕豆间作条件下蚕豆对钾的吸收及对蚕豆赤斑病的影响[J]. 云南农业大学学报,2005,20(6): 779-782.
- Zhou G S, Xiao J X, Zheng Y *et al.* Potassium uptake and its effect on leaf spots of broad beans in wheat and broad beans intercropping [J]. J. Yunnan Agric. Univ., 2005, 20(6): 779-782.
- [5] 余丽娜,郑毅,朱有勇. 小麦蚕豆间作中作物对氮的吸收利用[J]. 云南农业大学学报,2003,18(3): 256-258, 269.
- She L N, Zheng Y, Zhu Y Y. Nitrogen uptake and utilization in wheat and broad bean intercropping [J]. J. Yunnan Agric. Univ., 2003, 18(3): 256-258, 269.
- [6] 肖焱波,李隆,张福锁. 小麦/蚕豆间作体系中的种间相互作用及氮转移研究[J]. 中国农业科学,2005,38(5): 965-973.
- Xiao Y B, Li L, Zhang F S. The inter specific nitrogen facilitation and the subsequent and nitrogen transfer between the intercropped wheat and faba bean[J]. Sci. Agric. Sin., 2005, 38(5): 965-973.
- [7] Li L, Sun J H, Zhang F S *et al.* Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping I. Yield advantage and inter specific interactions on nutrients [J]. Field Crops Res., 2001, 71:123-137.
- [8] 张福锁. 环境胁迫与植物营养[M]. 北京: 北京农业大学出版社,1993. 336-352.
- Zhang F S. Environment intimidate and plant nutrition[M]. Beijing: Beijing Agriculture University Press, 1993.336-352.
- [9] 朱明华,张洪进,王东华,杨燕涛. 蚕豆赤斑病调查方法的探讨[J]. 植保技术与推广,2002,22(9): 18-19.
- Zhu M H, Zhang H J, Wang D H *et al.* The research of faba bean leaf spots investigation [J]. Plant Prot. Techn. Exten., 2002, 22(9): 18-19.
- [10] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社,1983. 135-291.
- Soil Science Society of China Professional Committee of Agricultural Chemistry. Conventional agricultural chemical soil analysis[M]. Beijing: Science Press, 1983.135-291.
- [11] Vandermeer J. The ecology of intercropping[M]. Cambridge: University Press, 1992. 1-14.
- [12] 李春俭. 土壤与植物营养研究新动态[M]. 北京: 中国农业大学出版社,2001. 181-195.
- Li C J. The new development of soil and plant nutrition research [M]. Beijing: China Agriculture University Press, 2001.181-195.
- [13] 肖焱波,段宗颜,金航,等. 小麦/蚕豆间作体系中的氮节约效应及产量优势[J]. 植物营养与肥科学报,2007,13(2): 267-271.
- Xiao Y B, Duan Z Y, Jin H *et al.* Spared N response and yields advantage of intercropped wheat and faba bean[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(2): 267-271.
- [14] Fan F L, Zhang F S, Song Y N *et al.* Nitrogen fixation of faba bean interacting with a non-legume in two contrasting intercropping systems [J]. Plant Soil, 2006, 283:275-286.
- [15] Zhang F S, Li L. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency [J]. Plant Soil,2003,248: 305-312.
- [16] 左元梅,陈清,张福锁. 利用¹⁴C示踪研究玉米花生间作玉米根系分泌物对花生铁影响的机制[J]. 核农学报,2004,18(1): 43-46.
- Zuo Y M, Chen Q, Zhang F S. The mechanisms of root exudates of maize in improvement of iron nutrition of peanut in peanut maize intercropping system by ¹⁴C tracer technique [J]. Acta Agric. Nucl. Sin., 2004,18 (1):43-46.
- [17] Zhu Y Y, Chen H R, Wang Y Y *et al.* Genetic diversity and disease control in rice [J]. Nature, 2000, 406: 718-722.
- [18] Peoples M B, Herridge D F, Ladha J K. Biological N fixation: An efficient source of N for sustainable agricultural production [J]. Plant Soil, 1995, 174: 3-28.
- [19] 刘铮. 中国土壤微量元素[M]. 江苏: 江苏科学技术出版社, 1996. 134-176.
- Liu Z. Microelements in soils of China[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing, 1996.134-176.
- [20] 叶茵. 中国蚕豆学[M]. 北京: 中国农业出版社,2003. 174-188.
- Ye Y. Broad bean science of China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003.174-188.
- [21] Marshner H(李春俭译). 高等植物的矿质营养学[M]. 北京: 中国农业大学出版社,2001.302-318.
- Marshner H(Li C J transl.). Mineral nutrition of higher plant[M]. Beijing: China Agriculture University Press, 2001.302-318.
- [22] 张福锁. 植物营养生态生理学与遗传学[M]. 北京: 中国科学技术出版社,1993. 164-166.
- Zhang F S. Plant nutrition eco-physiology and genetics[M]. Beijing: China Technology Press, 1993.336-352.
- [23] 沈瑞清,张萍,白小军,康萍芝. 微量元素锰锌铜对小麦全蚀病菌抑制的效果的室内测定 [J]. 甘肃农业科技,2002,(12): 36-37.
- Shen R Q, Zhang P, Bai X J *et al.* The lab analysis of suppressive effects of microelement Mn, Zn, Cu on the wheat foot rot pathogen [J]. Gansu Agric. Techn, 2002, (12):36-37.