

施氮对间作蚕豆根际微生物区系和枯萎病发生的影响

董 艳, 汤 利, 郑 毅*, 魏兰芳

(云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201)

摘要:通过田间小区试验,研究了小麦、蚕豆间作条件下4个施氮水平(0, 56.25, 112.5 kg·hm⁻²和168.75 kg·hm⁻²)对蚕豆根际微生物区系和蚕豆枯萎病发生的影响。结果表明,单作和间作条件下,施氮显著增加了蚕豆根际的微生物数量,在N₂(112.5 kg·hm⁻²)水平下达到最高值;施氮对土壤微生物多样性无显著影响,但减轻了单、间作蚕豆枯萎病的发生,且在N₂水平下发病最轻。与单作相比,间作显著增加了蚕豆根际的细菌、真菌、放线菌数量、微生物总数和微生物多样性,尤其在N₀、N₁(56.25 kg·hm⁻²)和N₂(112.5 kg·hm⁻²)水平下间作对蚕豆根际微生物的促进效应明显,且以真菌和放线菌的增幅较大。N₀、N₁和N₂水平下间作显著降低了蚕豆枯萎病的发病率和病情指数。小麦蚕豆间作下适量施氮能有效调节蚕豆根际微生物区系,是抑制蚕豆枯萎病发生的有效措施。

关键词:小麦蚕豆间作;施氮量;枯萎病;土壤微生物区系

Effects of N application on rhizosphere microflora and fusarium wilt occurrence of intercropped faba bean

DONG Yan, TANG Li, ZHENG Yi*, WEI Lanfang

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

Abstract: Field trials were carried out to investigate effects of four N application rates (0, 56.25, 112.5 and 168.75 kg·hm⁻²) on rhizosphere microflora and fusarium wilt occurrence of faba bean in wheat and faba bean intercropping. Results showed that rhizosphere microbe population of faba bean were increased significantly with increasing N application, in both intercropping and monocropping, the peak value of microbial population appeared in N₂(112.5 kg·hm⁻²) treatment. No significant effects of N application on soil microbe diversity were detected, but N application reduced intercropped faba bean fusarium wilt occurrence, the lowest disease incidence and index was appeared with N₂(112.5 kg·hm⁻²) treatment. In comparison with monocropping, the amount of rhizosphere bacteria, fungi, actinomyces, total microbes and microbe diversity of intercropped faba bean significantly increased, the promoting effects of rhizosphere microflora with N application, especially with N₀, N₁(56.25 kg·hm⁻²) and N₂(112.5 kg·hm⁻²) was also prominent, the amount of fungi and actinomyces population increased significantly. Fusarium wilt incidence and index of intercropped faba bean significantly decreased with N₀, N₁ and N₂ application rates. Rational nitrogen application could effectively regulate rhizosphere microbial population of faba bean, and it could be also an effective measure to control faba bean fusarium wilt occurrence in wheat and faba bean intercropping.

Key Words: wheat and faba bean intercropping; nitrogen application rates; fusarium wilt; soil microflora

蚕豆枯萎病是蚕豆生产上的重要土传病害,是蚕豆稳产高产的限制性因素之一,由于病害发生因素多,流行时间长,侵染过程复杂,目前尚无准确的预测办法和有效的防治措施^[1]。生物多样性是植物病害流行的天

基金项目:国家重点基础研究发展计划前期研究专项资助项目(2008CB117011);国家自然科学基金资助项目(30860157;30460061);公益性行业(农业)科研专项资助项目(200803030)

收稿日期:2009-08-05; 修订日期:2009-11-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yzheng@ynau.edu.cn

然屏障,利用生物多样性持续控制作物病害,是近年国内外研究的热点^[2]。间套作作为我国传统农业的精髓,是增加农田生物多样性的有效措施。利用间作套种持续控制作物病害在国内外已有很多成功范例^[3]。近年来,很多研究从地上部田间小气候改变^[3]、通风透光条件改善^[3]、病原菌的阻挡效应^[3]、诱导抗性^[3]、养分高效利用^[4-5]、抗性物质变化^[6]等方面研究了间作控制气传病害的机理并取得显著进展。目前有研究报道间作种植也能较好地控制多种土传病害的发生^[7-8],但间作控制土传病害的研究大多来自于现象的观察,对控病机制的研究较少。农田土壤微生物是农田生态系统物质和能量转化、循环和利用的基础,是生态系统稳定性和可持续性的保障。很多研究表明,作物病害的发生,尤其是土传病害的发生与根际微生物的数量、区系组成和群落结构关系密切^[9-10]。间作系统中地下部根际相互作用对根际微生物的影响及其在土传病害控制中的作用研究才刚刚起步,特别是豆科禾本科间作系统中地下部根际微生物变化与土传病害发生关系的研究还报道还较少。因此,本文以云南普遍种植的小麦蚕豆间作体系为对象,通过研究不同供氮水平下蚕豆与小麦间作对土壤微生物区系的影响及其与蚕豆枯萎病发生的关系,以期应用生物多样性控制作物病害,提高产量,实现农业可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2005—2006 年在云南省陆良县李家村进行。土壤为水稻土,前茬水稻,土壤基本农化性状为有机质含量 $14.51\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮 $1.21\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮 $59.83\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $29.90\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $52.11\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,pH 值为 7.25。试验采用 2 因素随机区组设计,A 因素为施氮量,设 4 个水平,即 N_0 (不施氮)、 N_1 (施氮 $56.25\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)、 N_2 (施氮 $112.5\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)、 N_3 (施氮 $168.75\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),B 因素为种植模式,设蚕豆单作(M)和蚕豆与小麦间作(I)2 种植模式,8 个处理,重复 3 次,共 24 个小区,小区面积 32.4m^2 。于 2005 年 10 月 13 日同时播种小麦和蚕豆,2006 年 4 月 13 日收获。

供试肥料为尿素、普通过磷酸钙,硫酸钾;磷肥施用量为 $112.5\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (以 P_2O_5 计),钾肥施用量为 $112.5\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (以 K_2O 计),不施有机肥。氮肥、磷肥和钾肥全部作为基肥,一次性施入。

1.2 取样

分别于蚕豆分枝期、开花期和鼓荚期进行 3 次采样,先将植株根系从土壤中整体挖出,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作为根际土样品。单作处理中,每个处理的每次重复随机取作物 4 株,然后将 4 株作物的根际土壤混合为 1 个样品。间作处理中,在每个处理的每次重复中随机选两个间作带,每个间作带内两种作物分别取样,各取 2 株;然后将两个间作带中两种作物各 4 株的根际土分别混合成 2 个样品。在田间取得的根际土样立即放入冰盒中保存,将冷藏保存的土样带回实验室后,尽快分析。

1.3 病害调查

于蚕豆分枝期、开花期和鼓荚期进行 3 次病害调查^[11],发病率和病情指数的计算公式如下:

$$\text{发病率}(\%) = (\text{发病株数} / \text{调查总株数}) \times 100$$

$$\text{病情指数}(\%) = \Sigma(\text{各级病株数} \times \text{相应级值}) / (\text{最高级值} \times \text{调查总株数}) \times 100$$

1.4 测定方法及数据分析

微生物分析采用稀释平板法进行,细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基、真菌采用马丁氏培养基、放线菌采用高氏一号培养基进行培养^[12]。

微生物多样性指数(H)采用 Shannon-Wiener 指数法计算,计算公式^[13]为:

$$(H) = - \sum (n_i/N) \ln(n_i/N)$$

式中, n_i 为第 i 个物种的个体数; N 为群落中所有物种的个体数。

采用 SAS 9.0 软件中双因素程序对数据进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 间作及施氮水平对作物病害发生的影响

2.1.1 施氮对蚕豆枯萎病发生的影响

从图 1 可看出,蚕豆枯萎病发病率和病情指数从分枝期至开花期急剧上升,开花期发病率和病情指数都达到最高值,鼓荚期又下降。单作和间作条件下,蚕豆枯萎病的发病率和病情指数随施氮量的变化趋势一致,即随着施氮量的增加,蚕豆枯萎病的发病率和病情指数先下降后上升, N_0 处理的发病率和病情指数最高,而 N_2 处理最低。与不施氮 N_0 处理相比,施氮降低了蚕豆枯萎病的发病率,除分枝期和开花期 N_2 处理与 N_0 处理间差异显著外,其它处理间差异不显著。

3 次调查中,施氮均显著降低了蚕豆枯萎病的病情指数。与 N_0 相比, N_1 、 N_2 、 N_3 水平下单作蚕豆分枝期发病率和病情指数分别降低 19.7%、30.0%、13.6% 和 27.1%、52.6%、36.3%,施氮平均降低发病率和病情指数 21.1% 和 38.7%;使间作蚕豆分枝期 N_1 、 N_2 、 N_3 水平下发病率和病情指数分别降低 11.1%、40.9%、10.2% 和 31.5%、41.1%、22.4%,施氮平均降低发病率和病情指数 20.8% 和 31.6%。开花期,施氮(N_1 、 N_2 、 N_3)使单作蚕豆枯萎病发病率和病情指数分别降低 0%、24.4%、0% 和 36.2%、52.5%、33.3%,平均降低 8.1% 和 40.7%;间作蚕豆 N_1 、 N_2 、 N_3 水平下发病率和病情指数分别降低 6.7%、20.3%、5.6% 和 25.6%、62.3%、42.9%,平均降低 10.8% 和 43.6%。鼓荚期,单作条件下施氮使发病率和病情指数平均降低 3.1% 和 18.5%,间作条件下施氮使发病率和病情指数平均降低 11.0% 和 41.4%。

从 3 次调查数据可看出,施氮对单作蚕豆和间作蚕豆具有相同的影响,但施氮降低间作蚕豆枯萎病发病率和病情指数的效果好于单作蚕豆,且施氮对病情指数的影响大于对发病率的影响,发病盛期施氮控制蚕豆枯萎病的效果最好,施氮水平为 N_2 时蚕豆生长最健康,抗枯萎病的能力最强。

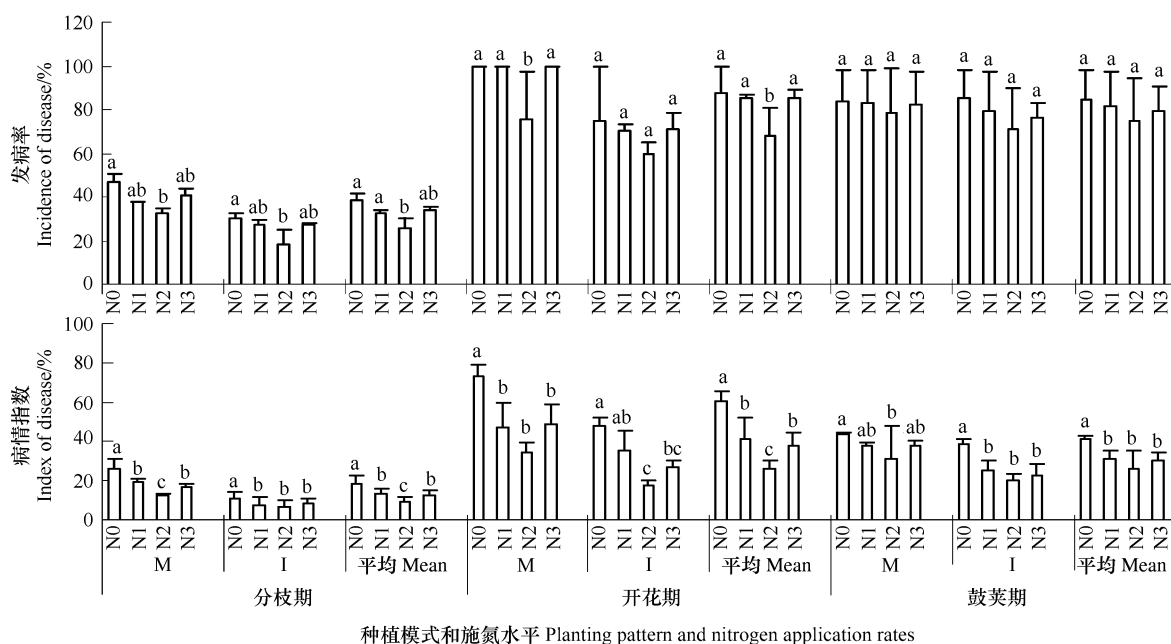


图 1 施氮对蚕豆枯萎病发病率和病情指数的影响

Fig. 1 Effects of N application rates on incidence and index of faba bean fusarium wilt

M: 单作; I: 间作; mean: 同一氮水平下单间作的平均值; 图中不同小写字母分别表示单作和间作模式下不同施氮处理间 0.05 水平下的差异显著性 ($P < 0.05$)

2.1.2 间作对蚕豆枯萎病发生的影响

从图 2 可看出,第 1 次调查时,与单作相比,不论施氮量多少,间作都显著降低了蚕豆枯萎病的发病率和病情指数, N_1 、 N_2 、 N_3 水平下间作蚕豆枯萎病发病率和病情指数分别比单作降低 35.5%、33.6%、45.5%、

27.9% 和 57.3%、59.8%、46.9%、47.9%，间作平均比单作降低发病率和病情指数 35.3% 和 54.1%。第 2 次调查时，除 N_2 处理发病率差异不显著外，其余各施氮水平下间作蚕豆枯萎病的发病率和病情指数也都显著低于单作蚕豆，间作蚕豆枯萎病发病率和病情指数平均比单作降低 26.6% 和 66.0%，第 3 次调查时，与单作相比，间作平均使蚕豆枯萎病病情指数显著降低 29.2%。间作有降低发病率的趋势，但处理间差异不显著。从以上分析可看出在发病初期和盛期间作降低蚕豆枯萎病发病率的效果都极为显著，随蚕豆枯萎病发病程度加重，间作对发病率的控制作用急剧下降，而对病情指数的降低作用仍保持在较高水平，表明小麦蚕豆间作能有效减轻蚕豆枯萎病的病情。

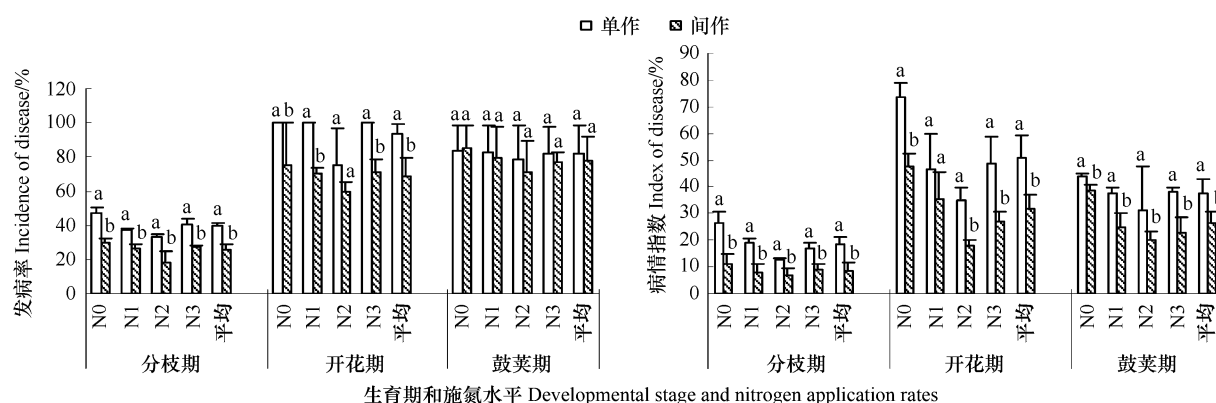


图 2 间作对蚕豆枯萎病发病率和病情指数的影响

Fig. 2 Effects of intercropping on incidence and index of faba bean fusarium wilt

Mean: 同一种植模式 4 个氮水平下对应变量的平均值; 图中不同小写字母分别表示相同施氮水平下间作处理间 0.05 水平下的差异显著性 ($P < 0.05$)

2.2 间作及施氮对根际微生物区系及多样性的影响

2.2.1 间作及施氮对根际微生物区系的影响

从图 3 可看出，单作和间作条件下，施氮对根际微生物的数量影响一致，随着施氮量的增加，蚕豆根际的细菌和微生物总数先增加后下降，在 N_2 水平下达到最高值，并与 N_0 处理间差异显著。根际真菌数量的变化与细菌相同，但处理间差异不显著；施氮对根际放线菌数量的影响表现为 $N_3 > N_2 > N_1 > N_0$ ，各处理间差异不显著。以上分析表明 N_2 处理具有保持较高的细菌、真菌数量和微生物总数的优势。

地上部与地下部系统在空间上虽是彼此分开、各自独立的，但他们通过植物根系连接起来，沟通了地上与地下部系统的物质、能量和信息流，形成了根际土壤微区，在这个微环境中，根系分泌物为微生物提供重要的营养和能量物质，其数量和成分影响着根际微生物的种类和繁殖^[12]。从图 3 可看出，整个生育期，间作都显著增加了蚕豆根际的微生物数量。与单作相比，间作使各施氮水平下蚕豆根际细菌、真菌、放线菌数量和微生物总数平均增加 65.7%、73.5%、124.2% 和 68.1%（分枝期），开花期平均增加 46.0%、274.2%、113.3% 和 35.4%；鼓荚期分别增加 26.4%、20.8%、42.9% 和 27.8%。3 个时期中以分枝期和开花期微生物数量的增幅最大；从微生物总类来看，以真菌和放线菌的增幅最大。蚕豆分枝期，无论施氮水平如何，细菌、真菌、放线菌数量和微生物总数在间作与单作处理间差异均达到显著水平。与单作相比，间作使蚕豆分枝期 N_0 、 N_1 、 N_2 和 N_3 水平下根际细菌数量分别增加 57.9%、98.1%、65.5% 和 44.0%，真菌数量分别增加 86.7%、71.1%、70.4% 和 69.8%，放线菌数量分别增加 319.4%、207.4%、85.2% 和 51.4%，微生物总数分别增加 65.7%、101.4%、66.3% 和 44.6%。开花期和鼓荚期各施氮水平下间作处理间差异显著性无一致规律，但从平均数来看，间作蚕豆根际细菌、真菌、放线菌数量和微生物总数仍显著高于单作。从以上分析可以看出，氮肥用量不同的情况下，间作效应的表现不同，在 N_0 和 N_1 水平下间作对根际微生物的促进效应明显，当肥料投入能够满足作物正常生长发育时（ N_2 水平），间作对根际微生物的促进效应减弱。间作增加根际微生物数量的优

势在分枝期和开花期较强,鼓荚期减弱,同时间作增加真菌和放线菌数量的优势比较明显。

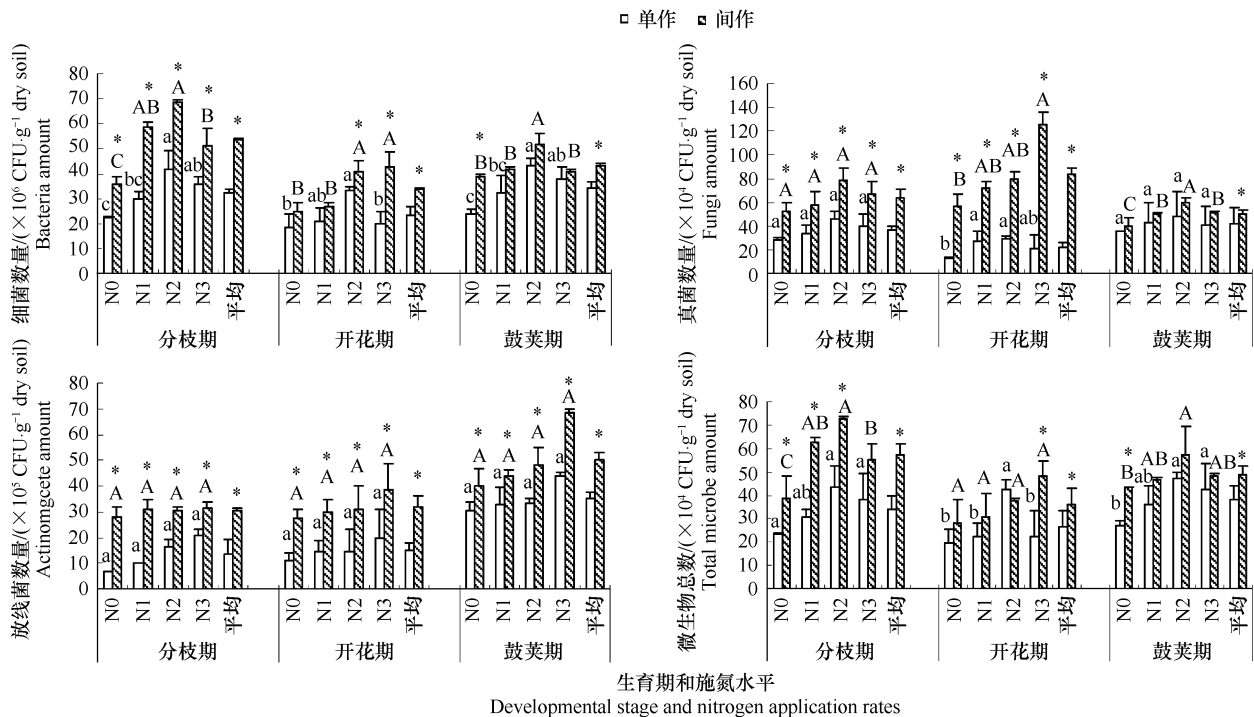


图3 施氮和间作对蚕豆根际微生物数量的影响

Fig.3 Effects of N application and intercropping on faba bean rhizosphere microbe amount

图中不同小写字母和大写字母分别表示单作和间作条件下不同施氮处理间 0.05 水平下的差异显著性 ($P < 0.05$), * 表示相同施氮水平下单作和间作处理间的差异显著性 ($P < 0.05$)

2.2.3 间作及施氮水平对根际微生物多样性的影响

生物多样性是衡量生态系统稳定和健康的—个重要指标^[14]。从图 4 可看出在单作和间作条件下,分枝期和开花期微生物多样性指数随施氮量有一定波动,但差异不显著;鼓荚期单间作条件下微生物多样性指数变化无—致规律,总体来说施氮对根际微生物多样性无显著影响。

间作提高了蚕豆根际微生物多样性,其中分枝期和开花期单间作处理间差异达到显著水平,而鼓荚期单间作处理间无显著差异。与单作相比,间作使分枝期和开花期微生物多样性指数分别增加 24.4% 和 51.4%,表明在小麦蚕豆间作条件下,分枝期两种作物的根系具有一定的相互作用,表现出显著增加微生物多样性指数的趋势;当进入花期时,根系的相互作用达到最强,使根际生物化学特性显著变化,地上部植物多样性对地下部微生物多样性产生显著影响;至蚕豆鼓荚期时,根系逐渐衰老,地上部植物多样性对地下部微生物多样性的影响逐渐减弱。

3 讨论与结论

3.1 施氮对蚕豆枯萎病的影响

由于氮在作物增产和调节作物抗病性方面的重要性,因此关于氮肥施用对作物病害影响的文献很多,氮素的施用—般减弱了植物的抗病性,发病率增加,病害程度加重^[15];小麦白粉病和水稻稻瘟病病情指数随施氮量的增加而提高^[5,16]。本研究中,蚕豆枯萎病的发病率和病情指数都随着氮肥施用量的增加而降低,在 N_2 水平下发病率和病情指数最低,并与不施氮处理差异达到显著水平,与上述研究结果不一致,但与 Huang et al 等认为的施用尿素并配合施用过磷酸钙可降低西瓜枯萎病发生的结果相同^[17]。造成氮肥施用对病害影响结论不一致的原因可能是:(1)所用氮肥品种不同也导致病害发生严重程度不同,铵态氮肥能控制病害的发生,硝态氮肥使病害加重^[15,18];(2)病原菌侵染方式是专性侵染还是兼性侵染,氮浓度高加重了专性寄生物的侵

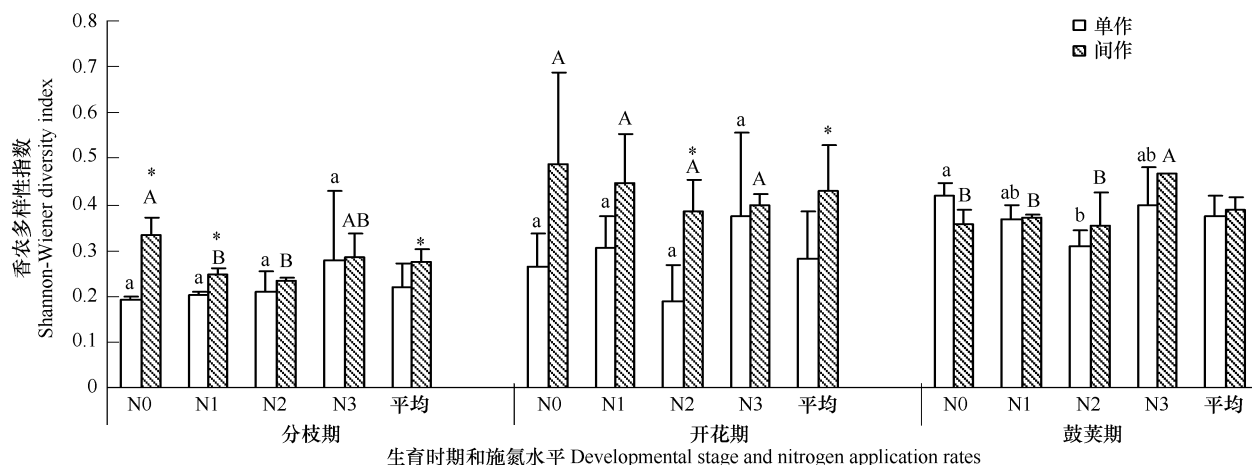


图4 施氮及间作对根际微生物多样性的影响

Fig. 4 Effects of nitrogen application rates and intercropping on rhizosphere microbe diversity

染,而施氮减轻了兼性寄生生物的侵染^[15]。

本研究中蚕豆枯萎病的病原镰刀菌的侵染方式是兼性侵染,因而表现出减轻枯萎病发生的趋势。无机肥料降低土传病害的可能机制有以下几个方面:(1)在根际刺激拮抗菌的生长,进而抑制了病原菌;(2)直接抑制病原菌;(3)通过改变寄主的代谢,在植物体内或根区形成不利于病原菌生存的环境;(4)通过上述3方面的综合作用来抑制病原菌的侵染和扩展^[19]。施用氯化钾显著降低玉米茎腐病的发生率^[19]。本研究中,氮肥施用降低了蚕豆枯萎病的发生,其原因可能来自3个方面:一是施氮增加了微生物数量;微生物数量、和谐的土壤其各类微生物的数量、种类都显著高于病害发生严重的土壤^[14],因此施氮增加根际微生物数量可能对抑制蚕豆枯萎病起到了一定的作用;二是施氮增加土壤速效养分含量。徐瑞富等研究发现棉花黄萎病轻病地中碱解氮和速效钾的含量明显高于重病地,而重病地碱解氮和速效钾的含量偏低,使棉花植株生长营养不良,造成抗病性减弱,可能是发病较重的原因之一^[20];三是施氮可能引起了根际分泌物含量和组分的变化。Katariqa 和 Erland 研究了不同氮肥对根际微生物的影响,氮肥的增加引起根系分泌物的改变^[21];氮素浓度增加,大豆根系分泌物中有机酸总量亦增加,大豆根系分泌物中有机酸的差异可能是造成连作条件下品种间抗病性不同的原因之一^[22]。施用钾肥能引起玉米根分泌物含量和组分的变化,并且这种分泌物的变化对玉米茎腐病发生有重要影响^[19]。因此施氮减轻蚕豆枯萎病发生的具体原因需进一步深入研究。

3.2 间作对土壤微生物区系的影响及其与抗枯萎病的关系

间作体系地上部植物多样性与地下部微生物多样性存在紧密联系^[23]。地上部与地下部亚系统相互联系的观点为研究农田生态系统开拓了一个新的观点,人们传统只关注地上部亚系统,现在已越来越清楚地认识到两个亚系统是相互反馈、共同影响生态系统的组成和生态过程^[12]。植物间作套种能增加地上部的生物多样性,这不仅可改善地上部生态功能,还可促进根际微生物数量^[24];小麦与苜蓿、豌豆、油菜间作和混作条件下,作物根区土壤的细菌、真菌、放线菌数量和微生物总数都比相应单作作物多^[25];小麦/蚕豆间作能提高作物根际细菌群落多样性、改变根际细菌群落结构组成^[23]。本研究中小麦蚕豆间作显著增加了根际微生物数量,与上述研究结果相同。这是因为小麦蚕豆间作条件下,由于地上部植物种类增加,导致进入到土壤中的物质、能量流的多样性和数量的增加,为根际土壤中微生物繁殖提供了丰富的能源和碳源,使地下部土壤微生物数量也相应增加。近年来,随着研究手段的不断改进,有关间作对土壤微生物群落结构多样性的影响还有待于结合分子手段做进一步研究。

土壤微生物数量是标志土壤生物学性质的重要组成部分,植物对土传病害的抗性与根际土壤微生物关系密切^[9,10]。目前很多学者认为,对植物土传病害的抑制在一定程度上是土壤微生物群体的作用,根际土壤中的真菌、细菌及放线菌等是生物防治的贡献者,通过它们对病原菌的拮抗作用抑制或直接杀死病原菌的菌丝

及孢子,当微生物群落结构越丰富,物种越均匀,多样性越高时,对抗病原菌的综合能力就越强^[14]。药用植物与花生套作增加了土壤细菌和放线菌的数量,对克服花生连作土传病害起到了重要作用^[26]。西瓜与旱作水稻间作后改善了西瓜根际的微生物多样性,使西瓜根际土壤的细菌、放线菌及总微生物数量显著高于单作处理,病原微生物(尖孢镰刀菌)数量降低,有效地减轻西瓜连作障碍,保证了西瓜的正常生长^[8]。本研究中小麦蚕豆间作有效的控制了蚕豆枯萎病的发生,相应的蚕豆根际土壤中细菌、真菌、放线菌数量和微生物总数显著增加。根际土壤中细菌数量的增加能有效抑制病原菌的生长^[27],其机制包括细菌在植物根际的有效定植,与病原菌竞争养分,产生抗生素和胞外酶^[28];放线菌多数能产生抗菌素,抑制病菌生长,不利于病害发生^[8];土壤真菌比例的增加有助于土壤生态系统向稳定方向发展,增强土壤抑制土传病菌的能力^[26]。因此,间作引起蚕豆根际微生物数量的增加与降低蚕豆枯萎病的发生存在密切的联系。

3.3 施氮及间作对土壤微生物多样性的影响及其与抗枯萎病的关系

无机肥料深刻影响着土壤微生物的生存环境,即土壤的物理化学性质,所以在一定程度上无机肥料也影响着土壤微生物群落多样性。在施用无机氮肥对土壤微生物的多样性的影响上,目前的报道有矛盾之处。Allison 等的研究显示,施用氮肥降低了土壤微生物多样性^[29];Sarithchandra 等认为无机氮肥对土壤微生物多样性无明显影响^[30]。本研究结果表明施用尿素对土壤微生物多样性无显著影响,表明无机氮肥施用对土壤微生物多样性的影响是复杂的,可能与无机氮肥的种类、施用方式(施用量、长期施用或短期施用)、土壤类型和利用方式等因素有关。本研究中,施氮显著增加了微生物总数,反映出土壤微生物总数的变化与多样性的变化不一致。习金根等研究认为微生物总数高的土壤,其多样性指数不一定高^[31];章家恩等研究了 6 种土壤的微生物数量后发现,土壤中微生物总量与生物多样性指数二者的变化趋势不一致^[32]。评价土壤生物多样性应将 2 个指标结合起来,因此施氮使根际微生物总数增加对减轻蚕豆枯萎病可能起到了重要作用。

现代农业种植体系中由于过度依赖化肥和化学农药的使用,以及单一作物连作的结果,影响到土壤微生物结构和功能的改变,导致土传病害爆发。重视轮作、间作和合理的耕作制度,保持土壤微生物的稳定,是控制土传病害发生的有效途径之一^[25]。本研究中,在发病初期和盛期间作显著增加了蚕豆根际的微生物多样性,并降低了蚕豆枯萎病的病情指数,这与 Ren 等关于在微生物多样性高和群落结构比较合理的水稻/西瓜间作体系西瓜根际中,枯萎病病原菌生长繁殖受到一定程度抑制的观点相符^[8]。这可能是由于间套种所形成的复合群体更彻底地覆盖了地面,容易维持土壤微生物平衡,通过竞争抑制有害生物种群,减少病害,降低作物生产风险性。

3.4 蚕豆生育期对根际微生物的影响及其与枯萎病发生的关系

根际微生物区系的变化与作物生长状况存在一定的联系。本研究中,根际微生物数量在开花期最低,鼓荚期又上升,这可能与根际养分的亏缺有关。章家恩等报道根际微生物数量与根际养分丰富状况具有一致性,在作物的旺盛生长期,根际养分反而会出现亏损^[33];在花期,蚕豆生长旺盛,根际养分可能出现暂时的贫乏,随着微生物数量增长,对土壤有机质的分解和矿化能力加强,根际营养贫乏的状况可能出现缓解,从而导致根际微生物数量在花期较分枝期下降。本研究还发现蚕豆枯萎病发生发展表现为与微生物数量相反的变化,即蚕豆分枝期最轻,开花期病情指数达到最高值,鼓荚期又下降,表明根际微生物数量的变化影响着蚕豆枯萎病的发生和发展。

总之,与单一种植相比,蚕豆与小麦间作后,增加了根际微生物数量,提高了微生物多样性,对减轻蚕豆枯萎病的发生起到了积极的作用。这也证实了根际微生物数量和多样性的变化与土传病害发生之间存在着密切的联系。采用多样性种植的作物管理方法,增加地上部作物多样性,调节地下部土壤微生态环境,增加土壤微生物数量和多样性,可为克服土传病害的发生提供环保、经济、有效的防治途径。本研究中与不施氮相比,施用氮肥能增加土壤微生物数量,减轻了蚕豆枯萎病的发生,特别是在蚕豆与小麦间作条件下适量施用氮素控制病害的效果更好,这在农业生产中具有重要的指导意义。有关间作小麦根系分泌物的变化及其对蚕豆枯萎病菌的影响需深入研究。

致谢: 本研究中得到了云南省陆良县植保站保世森、阮石佑等同志的大力支持和帮助, 云南农业大学资环学院 2004 级博士生赵平, 2004 级硕士生周照留, 2005 级硕士生鲁耀, 2003 级农业资源与环境专业毕业实习同学姜光明、王永、张发明参与了田间调查、产量测评工作, 在此, 谨向他们致以衷心的感谢!

References:

- [1] Wang J H, Tang J Y. Investigation on *fusarium* Spp. Spreading and harm in main vicia faba cultured area in yunnan. Journal of Yunnan Agricultural University, 2001, 16(3): 182-184.
- [2] Wolfe M S. Crop strength through diversity. Science, 2000, 406: 681-682.
- [3] Zhu Y Y, Chen H R, Fan J H, Wang Y Y, Li Y, Chen J B, Fan J H, Yang S S, Hu L P, Mew T W, Teng P S, Wang Z H, Mundt C C. Genetic diversity and disease control in rice. Nature, 2000, 406: 718-722.
- [4] Chen Y X, Zhang F S, Tang L, Zheng Y, Li Y J, Christie P, Li L. Wheat powdery mildew and foliar N concentrations as influenced by N fertilization and belowground interactions with intercropped faba bean. Plant and Soil, 2007, 291: 1-13.
- [5] Xiao J X, Zhou G S, Tang L, Zheng Y, Li Y M, Li L. Effects of nitrogen and potassium nutrition on the occurrence of *blumeria graminis* (DC). Speer of wheat in wheat and faba bean intercropping. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(4): 517-522.
- [6] Su H P, Tang L, Liu Z H, Li S M, Li Y J, Zheng Y. Dynamics of nitrogen assimilates of wheat in wheat-faba bean intercropping system. Journal of Triticeae Crops, 2006, 26(6): 140-144.
- [7] Gómez -Rodríguez O, Zavaleta-Mejía E, González-Hernández V A, Livera-Munozb M, Ca' rdenas-Soriano E. Allelopathy and microclimatic modification of intercropping with marigold on tomato early blight disease development. Field Crops Research, 2003, 83: 27-34.
- [8] Ren L X., Shi M S, Xing M Y, Xu Y C, Huang Q W, Shen Q R. Intercropping with aerobic rice suppressed fusarium wilt in watermelon. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 40: 834-844.
- [9] Perez C, Dill-Macky R, Kinkel L L. Management of soil microbial communities to enhance populations of fusarium graminearum-antagonists in soil. Plant Soil, 2008, 302: 53-69.
- [10] Elsas J D, Garbeva P, Salles J. Effects of agronomical measures on the microbial diversity of soils as related to the suppression of soil borne plant pathogens. Biodegradation, 2002, 13(1): 29-40.
- [11] Zhou H Y, Yang H T, Tang W H. Occurrence of fusarium root rot in *astragalus adsurgens* and identification of the pathogens. Acta Agrestia Sinica, 2004, 12(4): 285-288.
- [12] Xu G H, Zheng H Y. Manual of Methods for Soil Microbial Analysis. Beijing: Agricultural Press, 1986: 102-110.
- [13] Yao H Y, Huang C Y. Soil Microbial Ecology and Test Technology. Beijing: Science Press, 2006: 135-137.
- [14] Janvier C, Villeneuve F, Alabouvette C, Edel-Hermann V, Mateille T, Steinberg C. Soil health through soil disease suppression: which strategy from descriptors to indicators?. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39, 1-23.
- [15] Marschner H. Mineral Nutrition of Higher Plants. London: Academic Press, 1986: 341-368.
- [16] Tang X, Zheng Y, Tang L, Zhang C C, Zhu Y Y, Zhang F S. Effects of nitrogen and silicon nutrition on rice blast occurrence under intercropping with different type varieties. Chinese Journal Rice Sciences, 2006, 20(6): 663-666.
- [17] Huang J W, Sun S K. Characteristics of suppressive soil and its application to watermelon fusarium wilt disease management. Plant Protection Bulletin, 1989, 31 (1): 104-118.
- [18] Qiu Y, Yang S Q, Xie Y S. Study on nitrogen-phosphoric fertilizer to infection of *gaemannomyces gaminis* var *tritici*. Journal of Ningxia Agricultural College, 1998, 19(2): 55-57.
- [19] Liu X Y, Jin J Y, He P, Liu H L, Li W J. Preliminary study on the relation between potassium chloride suppressing corn stalk rot and soil microorganism characteristics. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(2): 279-285.
- [20] Xu R F, Lu N H, Li X L, Chen C L. The influence of soil micro-organism to cotton verticillium wilt. Cotton Science, 2004, 16(6): 357-359.
- [21] Katafina H S and Erland B. The influence of nitrogen fertilization on bacterial activity in the rhizosphere of barley. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36: 195-198.
- [22] Zhang J Y, Wang J G, Xu Y L. Effect of amino acids from soybean root exudates on hyphal growth of pathogenic fungi of soybean root rot. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(2): 308-315.
- [23] Song Y N, Zhang F S, Marschner P, Fan F L, Gao H M, Bao X G, Sun J H, Li L. Effect of intercropping on crop yield and chemical and microbiological properties in rhizosphere of wheat (*Triticum aestivum* L.), maize (*Zea mays* L.), and faba bean (*Vicia faba* L.). Biology and Fertility of Soils, 2007, 43: 565-574.
- [24] Lu Y H, Zhang F S. The advances in rhizosphere microbiology. Soils, 2006, 38(2): 113-121.

- [25] Jia Z H, Yang Z P, Zhang Y Q, Miao G Y. Study on the quantity of three main colony of soil microbe in wheat farmland. *Journal of Triticeae Crops*, 2004, 24(3):53-56.
- [26] Xie H, Wang X X, Dai C C, Chen J X, Zhang T L. Effects of intercropping peanut with medicinal plants on soil microbial community. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(3):693-696.
- [27] Whipps J M. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 2001, 52, 487-511.
- [28] Brimecombe M J, De L F, Lynch J M. The effect of root exudates on rhizosphere microbial populations. In: Pinto R, Varanini Z, Nannipieri P, eds. *The Rhizosphere*. New York: Marcel Dekker, 2001: 95-141.
- [29] Steven D A, Hanson C A, Treseder K K. Nitrogen fertilization reduces diversity and alters community structure of active fungi in boreal ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39:1878-1887.
- [30] Sarathchandra S U, Ghani A, Yeates G W, Burch G, Cox N R. Effect of nitrogen and phosphate fertilizers on microbial and nematode diversity in pasture soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33:953-964.
- [31] Xi J G, Sun G M, Zhao Y L, Lu X H. Effects of different fertilization systems on amount of soil microorganisms in the soil of agave sisalana. *Plant Fibers and Products*, 2005, 27(5):235-239.
- [32] Zhang J E, Liu W G, Hu G. The relationship between quantity index of soil microorganisms and soil fertility. *Soil and Environmental Sciences*, 2002, 11(2):140-143.
- [33] Zhang J E, Liu W G, Wang W S. Effects of rhizosphere microbes and status of rhizosphere soil nutrients under different vegetations in south subtropical region. *Soil and Environmental Sciences*, 2002, 11(3):279-282.

参考文献:

- [1] 王家和,唐嘉义. 云南蚕豆枯萎病流行的时间动态规律研究. *云南农业大学学报*, 2001, 16(3): 182-184.
- [5] 肖靖秀,周桂凤,汤利,郑毅,李永梅,李隆. 小麦/蚕豆间作条件下小麦的氮、钾营养对小麦白粉病的影响. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(4):517-522.
- [6] 苏海鹏,汤利,刘自红,李少明,李勇杰,郑毅. 小麦蚕豆间作系统中小麦的氮同化物动态变化特征. *麦类作物学报*, 2006, 26(6): 140-144.
- [11] 周洪友,杨合同,唐文华. 沙打旺根腐病发生及病原菌鉴定. *草地学报*, 2004, 12(4):285-288.
- [12] 许光辉,郑洪云. 土壤微生物分析方法手册. 北京:农业出版社,1986: 102-110.
- [13] 姚槐应,黄昌勇. 土壤微生物生态学及其试验技术. 北京:科学出版社,2006: 135-137.
- [16] 唐旭,郑毅,汤利,张朝春,朱有勇,张福锁. 不同品种间作条件下的氮硅营养对水稻稻瘟病发生的影响. *中国水稻科学*, 2006, 20(6): 663-666.
- [18] 邱艳,杨淑琴,谢益书. 氮磷肥料对小麦全蚀病菌侵染作用的研究. *宁夏农学院学报*, 1998, 19(2):55-57.
- [19] 刘晓燕,金继运,何萍,刘海龙,李文娟. 氯化钾抑制玉米茎腐病发生与土壤微生物关系初探. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(2): 279-285.
- [20] 徐瑞富,陆宁海,李小丽,陈翠玲. 土壤微生物群落对棉花黄萎病的影响. *棉花学报*, 2004, 16(6): 357-359.
- [22] 张俊英,王敬国,许永利. 大豆根系分泌物中氨基酸对根腐病菌生长的影响. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(2):308-315.
- [24] 陆雅海,张福锁. 根际微生物研究进展. *土壤*, 2006, 38(2): 113-121.
- [25] 贾志红,杨珍平,张永清,苗果园. 麦田土壤微生物三大种群数量的研究. *麦类作物学报*, 2004, 24(3):53-56.
- [26] 谢慧,王兴祥,戴传超,陈佳昕,张桃林. 花生与药材套种对土壤微生物区系的影响. *应用生态学报*, 2007, 18(3): 693-696.
- [31] 习金根,孙光明,赵艳龙,陆新华. 不同的施肥方式对剑麻施肥区域土壤微生物类群的影响. *中国麻业*, 2005, 27(5):235-239.
- [32] 章家恩,刘文高,胡刚. 不同土地利用方式下土壤微生物数量与土壤肥力的关系. *土壤与环境*, 2002, 11(2):140-143.
- [33] 章家恩,刘文高,王伟胜. 南亚热带不同植被根际微生物数量与根际土壤养分状况. *土壤与环境*, 2002, 11(3):279-282.