

小麦蚕豆间作条件下不同施氮量对作物根际微生物数量的影响*

魏兰芳, 董艳, 汤利, 郑毅**
(云南农业大学资源与环境学院, 云南昆明 650201)

摘要: 通过盆栽试验和室内平板培养技术研究了小麦蚕豆间作条件下不同施氮量对作物根际微生物的影响。结果表明: 小麦蚕豆根际微生物数量在总体上以细菌为主, 放线菌次之, 真菌最少。在作物各生育期, 随着施氮量的增加, 小麦、蚕豆根际微生物数量增加, 在施氮量为 325 mg/kg (N) 时达到数量最高, 高氮 ($N_{3/2}$, 487.5 mg/kg) 时下降。在小麦孕穗 (蚕豆开花) 期施氮量为 325 mg/kg 时, 间作小麦根际细菌、真菌和放线菌分别比对照 (N_0) 增加了 71%, 152%, 4%; 间作蚕豆根际细菌、真菌和放线菌分别比对照 (N_0) 增加了 214%, 65%, 17%。小麦与蚕豆间作对小麦根际微生物数量表现为增加作用, 但对蚕豆根际微生物的影响相反; 间作小麦根际细菌、真菌数量在分蘖期、收获期显著高于单作小麦, 间作蚕豆根际微生物数量在施氮量为 325 mg/kg (N) 时均低于单作蚕豆。施氮量与种植模式的互作效应在蚕豆分枝、开花和鼓粒期对蚕豆根际细菌、真菌有显著影响, 对小麦根际细菌仅在分蘖期有显著影响, 对小麦根际真菌仅在孕穗期有显著影响。

关键词: 小麦; 蚕豆; 种植模式; 施氮量; 作物根际微生物

中图分类号: S 31 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-390X (2008) 03-0368-07

Effects of Nitrogen Supply Levels on the Amount of Rhizosphere Microorganism of Crops in Wheat and Broad Bean Intercropping

WEI Lan-fang, DONG Yan, TANG Li, ZHENG Yi

(Faculty of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: The effects of nitrogen supply levels on the rhizosphere microorganism of crops were studied in wheat and broad bean intercropping. The results indicated that the amount sequence of microorganism in the rhizospheres of wheat and broad bean was bacteria > fungi > actinomyces; the amount of rhizosphere microorganisms of wheat and broad bean increased with the increase of nitrogen supply, the highest amount of microorganisms in rhizosphere of both crops was gained through the treatment of 325 mg/kg nitrogen. The amount of microorganisms in rhizosphere of both crops decreased with the supply of high nitrogen (487.5 mg/kg). Compared with N_0 treatment (control), the amounts of rhizosphere bacteria, fungi and actinomyces of wheat significantly increased 71%, 152% and 4%, respectively, by the treatment of 325 mg/kg nitrogen during wheat booting stage in intercropping, and those of broad bean increased 214%, 65% and 17%, respectively during broad bean flowering stage in intercropping. Intercropping with the treatment of 325 mg/kg nitrogen significantly enhanced the amount of rhizosphere microorganisms of wheat, but had the inhibitory influence on that of broad bean. Intercropping significantly increased the amount of bacteria and fungi in the rhizosphere of wheat compared with

收稿日期: 2007-09-29 修回日期: 2007-11-05

* 基金项目: 国家自然科学基金 (30460061); 云南省省院省校合作项目 (2003FCCF03A009) ** 通讯作者
作者简介: 魏兰芳 (1971-), 女, 河南驻马店人, 在读硕士研究生, 主要从事土壤微生物研究。

wheat monoculture during wheat tillering and harvest stage, but it reduced the amount of microorganisms in the rhizosphere of broad bean with the treatment of 325 mg/kg compared with broad bean monoculture. The interactions of nitrogen supply and cropping pattern could significantly affect the rhizosphere bacteria and fungi of broad bean during broad bean ramifying, flowering and seed pumping stages, while it also significantly affected the rhizosphere bacteria of wheat during wheat tillering stage and fungi of wheat during wheat booting stage.

Key words: wheat; broad bean; nitrogen supply levels; intercropping; rhizosphere microorganisms of crops

土壤微生物是土壤有机质和养分转化、循环的动力, 它们参与土壤有机质分解、腐殖质形成、土壤养分转化和循环等过程; 土壤微生物群落的组成与活性不仅在很大程度上决定了生物地球化学循环、土壤有机质的周转及土壤肥力和质量, 也与植物的生产力有关^[1]。土壤微生物中的酶和微生物活性高低可以代表土壤中物质代谢的旺盛强度, 在一定程度上反映作物对氮素的吸收利用与生长发育状况等, 是土壤肥力的一个重要指标。提高土壤酶和土壤微生物活性, 能够促进植物生长, 防治和减轻病害, 增加作物产量^[2,3]。土壤微生物受土壤营养状况、pH值、质地、温度、水分和通气性等条件的影响, 也因人对土壤的利用和管理而发生变化。现有研究表明, 合理的间作可以降低作物病虫害的发生, 但施氮量的增加又会促进病害的发生。小麦//蚕豆间作明显降低了小麦锈病的发生, 间作的相对防效平均达22.2%~100%^[4]; 与单作相比, 小麦蚕豆间作后, 结荚期蚕豆赤斑病的病情指数降低了42.36%^[5]。小麦锈病的发生与小麦体内的氮素营养呈显著的正相关^[4]。随着氮肥施用量的增加, 与蚕豆间作小麦白粉病的发病率和病情指数都随之提高, 并且在高氮水平下, 病情最严重, 在3种根系分隔方式下, 都与不施氮肥处理达到了显著水平^[6]。

目前, 在小麦蚕豆间作系统中有关氮素营养对养分吸收利用、产量和病害发生的影响研究较多^[4-9], 但对与间作系统中地下部微生物的研究较少, 本文意在研究间作系统和施氮水平对地下部微生物的影响, 从土壤微生物区系变化角度评价不同栽培模式和供氮水平的环境效应, 为小麦

的合理施肥和栽培模式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点及材料

试验于2005年10月至2006年5月在云南农业大学植物营养系温室进行。

供试作物: 小麦品种编号为F42 (*Triticum aestivum* L.), 蚕豆品种为玉溪大粒豆 (*Vicia faba* L.)。

种子处理: 小麦、蚕豆种子在播种前用10% H₂O₂ 消毒10 min, 用种子点播。

供试土壤: 水稻土, 前作为水稻, 碱解氮110.2 mg/kg, 速效磷34.2 mg/kg, 速效钾136.1 mg/kg, 有机质11.77 g/kg, pH 7.4。

1.2 试验处理及实施

裂区组试验设计, 即3种植方式和4个氮素水平。(1) 3种植方式: 小麦单作, 蚕豆单作, 小麦蚕豆间作; (2) 4个氮素水平: 设0, 162.5 mg/kg, 325 mg/kg, 487.5 mg/kg ± 4个供氮水平, 分别记作N₀ (对照, CK)、N_{1/2}, N和N_{3/2}, 磷肥用量均为P₂O₅ 625 mg/kg土; 试验设计共12个处理, 每处理重复3次, 随机排列。

盆栽试验所采用盆钵为340 mm × 250 mm, 每盆装过2 mm筛土壤8 kg, 装完土后浇水沉实。供试肥料分别为尿素、普通过磷酸钙, 所有磷肥与土混匀一次施入, 尿素分2次施入。于2005年10月25日播种单作小麦每盆播28粒, 分为4行(6-8-8-6), 单作蚕豆每盆播7粒, 分为3行(2-3-2)。间作蚕豆种4粒, 小麦种14粒。

1.3 试验管理、采样与分析

1.3.1 田间管理

整个生育期按常规管理, 不使用农药、杀菌

剂和杀虫剂，并定期调换盆的位置。

1.3.2 采样

在小麦分蘖期（蚕豆分枝期），小麦孕穗期（蚕豆开花期），小麦抽穗扬花期（蚕豆鼓粒期），小麦、蚕豆收获期进行采样，分别采取单作小麦、蚕豆和间作小麦、蚕豆根际土。将土样于 4 ℃ 冰箱保鲜，用于微生物数量的平板培养。

1.3.3 微生物数量的测定

采用稀释涂布平板法测定，细菌用牛肉膏蛋白胨培养基、真菌用马丁氏培养基、放线菌用改良的高氏一号培养基^[9]。

1.3.4 数据分析

数据采用 DPS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 小麦、蚕豆根际细菌的变化

试验和分析结果详见表 1。种植模式在分蘖期、扬花期和收获期对小麦根际细菌的影响均达到显著水平，其中在扬花期、收获期达极显著水平，在孕穗期种植模式对小麦根际细菌数量达不到显著水平。在扬花期 N_0 、 $N_{1/2}$ 、 N 、 $N_{3/2}$ 处理时，间作小麦分别比单作小麦增加了 134%，133%，147%，62%。小麦蚕豆间作对蚕豆根际细菌数量起抑制作用，4 个生育期间栽蚕豆根际细菌数量与蚕豆单作相比，在施氮水平（N）时，分别下降了 21%，37%，8%，7%。

表 1 小麦蚕豆间作条件下不同施氮量对作物根际细菌的影响

Tab. 1 Effects of nitrogen supply levels on the rhizosphere bacteria of crops in wheat and broad bean intercropping 10^7 cfu/g

生育期 developmental stage	施氮水平 nitrogen levels	小麦 wheat		显著性检验 significance test		蚕豆 broad bean		显著性检验 significance test	
		单作 monoculture	间作 intercropping			单作 monoculture	间作 intercropping		
小麦分蘖期 tillering	N_0	1.79 b	2.52 b	A	*	2.37 b	2.62 a	A	NS
	$N_{1/2}$	1.83 b	2.75 b	B	NS	2.78 b	2.83 a	B	*
蚕豆分枝期 ramifying	N	2.21 b	3.78 a	A*B	**	3.83 a	3.04 a	A*B	*
	$N_{3/2}$	1.37 b	1.83 c			1.67 c	1.67 b		
小麦孕穗期 booting	N_0	2.72 c	2.91 b	A	NS	3.07 b	1.54 c	A	NS
	$N_{1/2}$	2.89 a	3.37 b	B	**	3.45 b	3.43 b	B	NS
蚕豆开花期 flowering	N	5.24 a	4.99 a	A*B	NS	7.75 a	4.83 a	A*B	**
	$N_{3/2}$	4.19 b	4.48 a			1.54 c	2.24 c		
小麦扬花期 flowering	N_0	1.58 a	3.70 ab	A	**	2.83 c	1.98 b	A	NS
	$N_{1/2}$	1.67 a	3.72 ab	B	NS	4.11 b	4.32 a	B	NS
蚕豆鼓粒期 seed plumping	N	1.71 a	4.23 a	A*B	NS	5.18 a	4.77 a	A*B	**
	$N_{3/2}$	1.86 a	3.02 b			1.53 d	4.11 a		
小麦、蚕豆收获期 harvest	N_0	3.30 a	3.69 a	A	**	2.69 a	2.56 a	A	*
	$N_{1/2}$	3.79 a	3.33 a	B	*	2.94 a	2.75 a	B	*
	N	3.96 a	3.67 a	A*B	NS	3.34 a	3.11 a	A*B	NS
	$N_{3/2}$	3.76 a	3.43 a			3.17 a	2.69 a		

注：A 表示种植模式，B 表示氮水平，A*B 表示种植模式和氮水平的交互作用；小写字母表示差异达 5% 显著水平，大写字母表示差异达 1% 显著水平；NS 表示处理间差异不显著，** 表示 $P < 0.01$ 显著，* 表示 $P < 0.05$ 显著；同表 2 和表 3。

Note: A represented cropping pattern; B represented nitrogen supply levels; A*B represented interaction of cropping pattern and nitrogen supply levels; small letters and * meant significant difference at 0.05 level and $P < 0.05$, respectively; capital letters and ** meant significant difference at 0.01 level and $P < 0.01$, respectively; NS meant no significant difference; the same as Tab. 2 and Tab. 3.

不同施氮量对小麦、蚕豆根际细菌的影响不同。从表 1 可以看出，在同一生育期随施氮量的

增加，两种作物根际细菌的数量基本上呈先增加后下降的变化趋势。施氮水平在孕穗期、收获期

对小麦根际细菌的影响达到显著水平, 在小麦孕穗期, 单作小麦根际细菌在施氮量 (N , $N_{3/2}$) 时的数量分别比对照 (N_0) 增加了 92%, 54%, 而且差异达到显著水平; 间作小麦根际细菌在施氮量 (N , $N_{3/2}$) 时的数量分别比对照 (N_0) 增加了 71%, 54%, 差异也达到显著水平; 在蚕豆分枝期、收获期对蚕豆根际细菌的影响达显著水平, 施氮量 (N) 时, 间作蚕豆根际细菌数量在蚕豆分枝期、收获期分别比对照 (N_0) 增加了 16%, 21%。此结果表明, 施用适量的氮肥可以提高作物根际细菌的数量, 但氮肥施用量过高反而起抑制作用, 对蚕豆的抑制作用高于小麦。

研究还表明种植模式和施氮量之间存在交互作用。在蚕豆分枝期、开花期和鼓粒期对蚕豆根际细菌数量具有极显著影响, 而对小麦根际细菌的影响仅在分蘖期达显著水平, 间作小麦根际细菌数量比单作小麦增加了 51%, 其它生育期影响不显著。

2.2 小麦、蚕豆根际真菌的变化

从表 2 可以看出, 间作和施氮水平对小麦根际真菌的影响较大。在分蘖期、孕穗期和收获期都达显著水平, 例如在施 N 量 (N) 时, 间作小麦与单作小麦相比, 小麦根际真菌数量在孕穗期

和收获期分别增加了 29% 和 25%; 间作对蚕豆根际真菌数量起抑制作用, 除蚕豆分枝期外, 其它 3 个生育期间作蚕豆根际真菌数量与蚕豆单作相比, 在施氮量 (N) 时, 分别下降了 26%, 24%, 7%。蚕豆根际真菌受施氮水平的影响较大, 除蚕豆开花期外, 其它生育期都达到显著水平。在同一生育期随施氮量的增加, 作物根际真菌的数量呈现出先增加后下降的变化趋势, 并且在施 N 水平 (N) 时影响最大。在施氮量 (N) 时, 4 个生育期单作小麦根际真菌数量分别比对照 (N_0) 增加了 39%, 151%, 67%, 46%, 单作蚕豆根际真菌数量分别比对照增加 21%, 91%, 73%, 112%; 间作小麦根际真菌数量分别比对照 (N_0) 增加了 17%, 152%, 112%, 74%, 间作蚕豆根际真菌数量比对照 (N_0) 增加了 45%, 65%, 75%, 81%。

研究还表明, 种植模式和施氮处理在孕穗期对小麦根际真菌的影响存在显著交互作用, 而两者互作对蚕豆根际真菌的显著影响表现在蚕豆分枝期、开花期和鼓粒期, 证明间作体系中小麦、蚕豆根际真菌的变化不仅受氮的肥力水平影响, 还受小麦和蚕豆根系间相互作用的影响。

表 2 小麦蚕豆间作条件下不同施氮量对作物根际真菌的影响

Tab. 2 Effects of nitrogen supply levels on the rhizosphere fungi of crops in wheat and broad bean intercropping 10^5 cfu/g

生育期 developmental stage	施氮水平 nitrogen levels	小麦 wheat		显著性检验 significance test		蚕豆 broad bean		显著性检验 significance test	
		单作 monoculture	间作 intercropping			单作 monoculture	间作 intercropping		
小麦分蘖期 tillering	N_0	0.44 b	0.58 b	A	**	0.46 b	0.58 c	A	NS
	$N_{1/2}$	0.50 b	0.59 ab	B	*	0.46 b	1.12 a	B	NS
蚕豆分枝期 ramifying	N	0.61 a	0.68 a	A *B	NS	0.56 ab	0.84 b	A *B	**
	$N_{3/2}$	0.52 ab	0.66 ab			0.71 a	0.68 bc		
小麦孕穗期 booting	N_0	0.91 c	1.17 d	A	*	1.14 b	0.98 b	A	NS
	$N_{1/2}$	1.39 b	2.34 b	B	*	1.22 b	1.09 b	B	NS
蚕豆开花期 flowering	N	2.28 a	2.95 a	A *B	*	2.18 a	1.62 a	A *B	*
	$N_{3/2}$	1.33 b	1.65 c			1.45 b	0.79 b		
小麦扬花期 flowering	N_0	1.26 b	1.51 b	A	NS	2.79 b	2.10 bc	A	NS
	$N_{1/2}$	1.64 b	1.68 b	B	NS	2.89 b	2.55 b	B	*
蚕豆鼓粒期 seed plumping	N	2.10 a	2.63 a	A *B	NS	4.82 a	3.67 a	A * B	**
	$N_{3/2}$	1.53 b	2.41 a			1.43 c	1.80 c		
小麦、蚕豆收获期 harvest	N_0	0.54 b	0.57 b	A	*	0.73 b	0.79 b	A	NS
	$N_{1/2}$	0.64 b	0.87 a	B	*	1.08 b	1.19 a	B	* *
	N	0.79 a	0.99 a	A * B	NS	1.55 a	1.43 a	A * B	NS
	$N_{3/2}$	0.59 b	0.69 b			0.88 b	0.79 b		

2.3 小麦、蚕豆根际放线菌的变化

从表 3 可以看出, 在 4 个生育期施氮量对小麦、蚕豆根际放线菌数量的影响均达不到显著水平; 种植模式仅在小麦扬花(蚕豆鼓粒)期对小麦、蚕豆根际放线菌数量的影响均达到显著水平。在分蘖期和收获期, 小麦根际放线菌受种植模式和施氮处理间的交互作用影响显著, 但在蚕豆开花期和收获期, 施氮量和种植模式的互作效应对蚕豆根际放线菌的影响显著。

表 3 小麦蚕豆间作条件下不同施氮量对作物根际放线菌的影响

Tab.3 Effects of nitrogen supply levels on the rhizosphere actinomycetes of crops in wheat and broad bean intercropping 单位: 10^5 cfu/g

生育期 developing stage	施氮水平 nitrogen levels	小麦 wheat		显著性检验 significance test		蚕豆 broad bean		显著性检验 significance test	
		单作 monoculture	间作 intercropping			单作 monoculture	间作 intercropping		
		小麦分蘖期 tillering	N_0	1.28 c	1.57 c	A	NS	1.63 ab	1.59 b
蚕豆分枝期 ramifying	$N_{1/2}$	1.74 b	2.14 a	B	NS	1.88 a	2.35 a	B	NS
小麦孕穗期 booting	N	2.18 a	2.53 a	A*B	*	1.91 a	2.08 a	A*B	NS
蚕豆开花期 flowering	$N_{3/2}$	1.73 b	2.08 b			1.36 b	1.92 ab		
小麦扬花期 flowering	N_0	2.23 b	2.94 a	A	NS	2.13 b	2.46 a	A	NS
蚕豆鼓粒期 seed plumping	$N_{1/2}$	2.28 b	3.34 a	B	NS	3.74 a	2.74 a	B	NS
小麦、蚕豆收获期 harvest	N	2.47 b	3.06 a	A*B	NS	3.77 a	2.87 a	A*B	**
	$N_{3/2}$	3.43 a	3.06 a			2.59 b	2.83 a		
	N_0	1.89 b	1.28 a	A	*	1.67 a	1.45 a	A	*
	$N_{1/2}$	2.47 a	1.30 a	B	NS	1.71 a	1.66 a	B	NS
	N	2.64 a	1.51 a	A*B	NS	2.01 a	1.73 a	A*B	NS
	$N_{3/2}$	1.77 b	1.14 a			1.92 a	1.65 a		
	N_0	2.12 c	1.57 c	A	NS	1.57 b	1.39 d	A	NS
	$N_{1/2}$	2.43 b	1.61 c	B	NS	2.01 a	1.81 c	B	NS
	N	2.83 a	1.97 b	A*B	**	2.28 a	2.24 b	A*B	**
	$N_{3/2}$	1.74 d	2.69 a			1.48 b	3.07 a		

3 讨论

3.1 氮素营养水平对作物根际微生物数量的影响

本研究结果表明, 在同一生育期同种植模式, 随着施氮量的增加, 小麦、蚕豆根际微生物数量基本上呈先增加后下降的变化趋势, 且以施 N 处理 (N) 的数量最高; 研究还表明根际微生物数量总体上以细菌为主, 放线菌次之, 真菌最少, 并且细菌在各生育期根际微生物的组成中一直处于优势, 这和郭天财等人的研究的结果相一致^[11-13], 胡俊等研究表明增施氮肥可明显地促进土壤中细菌和放线菌的生长繁殖^[14]。庞欣等的研究表明, 正常施氮处理根际土壤的微生物量氮

小麦与蚕豆间作后, 间作小麦根际放线菌在 4 个生育期施氮量 (N) 分别比对照 (N_0) 增加了 61%, 4%, 18%, 25%; 在施氮量 (N) 时, 间作小麦根际放线菌在分蘖期和孕穗期分别比小麦单作增加了 45%, 24%。在施氮量 (N) 时, 间作蚕豆根际放线菌在 4 个生育期分别比对照 (N_0) 增加了 31%, 17%, 19%, 61%; 与单作蚕豆相比, 除蚕豆分枝期外, 间作蚕豆根际放线菌分别比蚕豆单作降低了 24%, 14%, 2%。

含量都大于高氮大于缺氮处理^[15,16]。本研究结果表明, 小麦从分蘖期至扬花期, 在小麦单作和间作条件下根际细菌、放线菌的数量呈现先增加后减少的变化趋势, 并在孕穗期为最高值, 扬花期降低, 在收获期细菌、放线菌数量又有所增加, 但略低于孕穗期; 根际真菌的数量从分蘖期至扬花期一直呈增加的趋势, 但在收获期表现明显降低, 这和郭天财等人关于小麦根际细菌、真菌的变化趋势基本一致, 但根际放线菌在此期内一直呈增加的趋势不一致^[11], 原因可能是因为两者所采用的小麦品种、气候条件、土壤类型和 pH 值不同引起。

3.2 间作对不同生育期作物根际微生物数量的

影响

一些研究结果表明间作可以改变土壤微生物的数量和组成,主要是因为间作能提高氮素和水分利用效率,空间分布格局合理,田间小气候改良,根系充分接触、根系分泌氮化合物的转移,明显促进根区土壤微生物繁衍^[17~27]。本研究结果表明种植模式(小麦/蚕豆间作)在分蘖期、扬花期和收获期对小麦根际细菌的影响均达到显著水平,其中在扬花期、收获期达极显著水平,间作小麦根际微生物的数量高于单作小麦根际微生物,并且差异达到显著水平。但对蚕豆根际微生物的影响呈负效应,在施氮水平(N)时,间作蚕豆根际细菌低于单作,与柴强研究的玉米和蚕豆间作比单作蚕豆根际细菌数量降低的结果一致,但根际真菌、放线菌的结果不一致^[17]。宋亚娜等研究表明小麦与蚕豆间作对根际细菌群落结构的影响最为突出,在作物花期小麦与蚕豆间作显著提高和改变两种作物根际细菌多样性和群落结构组成^[18]。本研究与宋亚娜等的研究都表明小麦与蚕豆间作在扬花期显著提高小麦根际细菌数量及其多样性,原因是扬花期小麦和蚕豆根系发达,两种作物根系充分接触,根系种间的相互作用程度加强,蚕豆固定的氮向小麦根系的转移,小麦从蚕豆根区获得或吸收的氮素更多,有利于根际细菌的繁殖。前人的研究结果也证实非豆科作物可以通过氮转移从与之间作的豆科作物中受益^[19~21]。

种植模式在分蘖期、孕穗期和收获期对小麦根际真菌的影响都达了显著水平,对放线菌数量的影响仅在扬花期达到显著水平。宋亚娜等的结果表明小麦与蚕豆间作明显改变两种作物根际细菌群落结构和蚕豆根际真菌群落结构^[22]。小麦/苜蓿、小麦/豌豆、小麦/油菜间作混播时,明显促进根区土壤微生物繁衍^[23];枣麦间作条件下间作小区细菌、真菌和放线菌数量比单作高2~20倍,特别是放线菌的增殖幅度更为显著,这主要是因为间作区有机质丰富、土壤水气热、孔隙状况等适宜,为微生物生长提供了适宜的条件^[24]。玉米线辣椒套作对线辣椒根际微生物的影响结果表明,套作栽培的线辣椒根际微生物数量均高于单作栽培^[25]。玉米间作大豆对根际土壤微生物数量的影响结果表明,与单作相比,间作体系中的玉米、大豆根际土壤微生物数量均显著高于相应

单作根际^[26]。黑小麦和三叶草间作对微生物群体的影响研究发现黑小麦和三叶草单作时,其根际微生物群体有很大差异;但间作后一些三叶草根际特有的微生物出现在黑小麦根际^[27]。诸多的研究证明合理的间作可改变多种作物根际微生物群体数量和结构,还具有提高养分利用效率的作用,影响农作物健康。

因此,在生产实践中保持农业土壤和农作物的健康要从多方面来进行联合调控,采取科学合理的施肥及间作,使土壤微生物有利于小麦的生长发育和产量的提高值得进一步研究。

[参考文献]

- [1] ZELLES, L. Fatty acid patterns of phospholipids and lipopolysaccharides in the characterization of microbial communities in soil: a review [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 29: 111 - 129.
- [2] 陈利军, 武志杰. 与氮转化有关的土壤酶活性对抑制剂使用的响应 [J]. *应用生态学报*, 2002, 13 (9): 1099 - 1101.
- [3] 王书锦, 胡江春. 新世纪中国土壤微生物学的展望 [J]. *微生物学杂志*, 2002, 22 (1): 36 - 39.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 李勇杰, 陈远学, 汤丽, 等. 不同分根条件下氮对间作小麦生长和白粉病的发生 [J]. *云南农业大学学报*, 2006, 21 (5): 581 - 585.
- [7] 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): 255 - 258.
- [8] 李隆, 李晓林, 张福锁, 等. 小麦大豆间作条件下作物养分吸收利用对间作优势的贡献 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2000, 6 (2): 140 - 146.
- [9] YAN B X, LONG L, FUDUO Z. Effect of root contact on interspecific competition and N transfer between wheat and fababean using direct and indirect N techniques [J]. *Plant and Soil*, 2004, 262: 45 - 54.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [11] 郭天才, 宋晓, 马冬云, 等. 氮素营养水平对小麦根际微生物及土壤酶活性的影响 [J]. *水土保持学报*, 2006, 20 (3): 129 - 140.

- [12] 张彦东, 孙志虎, 沈有信. 施肥对金沙江干热河谷退化草地土壤微生物的影响 [J]. 水土保持学报, 2005, 19 (2): 88-91.
- [13] 林雁兵, 薛泉红, 刘海斌, 等. 旱地不同栽培模式及施氮量对小麦根区土壤微生物区系的影响 [J]. 西北农业学报, 2005, 14 (2): 38-43.
- [14] 胡俊, 高翔, 郑红丽. 覆膜、灌水、氮肥对春玉米根部土壤微生物数量的影响 [J]. 内蒙古农业大学学报 (自然科学版), 2000, 21 (增刊): 115-119.
- [15] 陈芝兰, 何建清, 彭岳林, 等. 不同施肥处理对西藏山南地区麦田土壤微生物变化的影响 [J]. 土壤肥料, 2005, (2): 35-41.
- [16] 庞欣, 张福锁. 不同供氮水平对根际微生物量氮及微生物活动的影响 [J]. 植物营养与肥料学, 2000, 6 (4): 476-480.
- [17] 柴强, 黄鹏, 黄高宝. 间作对根际土壤微生物和酶活性的影响研究 [J]. 草业学报, 2005, (5): 105-110.
- [18] 宋亚娜, Petra M, 张福锁, 等. 小麦/蚕豆, 玉米/蚕豆和小麦/玉米间作对根际细菌群落结构的影响 [J]. 生态学报, 2006, 26 (7): 2268-2274.
- [19] 朱树秀, 杨志忠. 紫花苜蓿与老芒麦混播优势的研究 [J]. 中国农业科学, 1992, 25 (6): 63-68.
- [20] GILLER K E, ORMESHER J, AWAH F M, Transfer of nitrogen from Phaseolus bean to intercropped maize measured using ^{15}N -enriched and ^{15}N -isotope dilution methods [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1991, 23: 339-346.
- [21] LEDARD S F, FRENEY J R, SIMPSON J R. Assessing nitrogen transfer from legumes to associated grass [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1985, 17: 575-577.
- [22] 宋亚娜, 包兴国, 李隆, 等. 利用 DGGE 法研究不同种植体系中根际微生物群落结构 [J]. 生物学杂志, 2006, 23 (5): 12-15.
- [23] 贾志红, 杨珍平, 张永清, 等. 麦田土壤微生物三大种群数量的研究 [J]. 麦类作物学报, 2004, 24 (3): 53-56.
- [24] 谢英荷, 洪坚平, 朴玉山, 等. 枣麦间作对土壤肥力的影响 [J]. 山西农业大学学报, 2002, 22 (3): 203-205.
- [25] 徐强, 程智慧, 孟焕文, 等. 玉米线辣椒套作对线辣椒根际、非根际土壤微生物、酶活性和土壤养分的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2007, (3): 100-105.
- [26] 刘均霞, 陆引罡, 远红伟, 等. 玉米、大豆间作对根际土壤微生物数量和酶活性的影响 [J]. 贵州农业科学, 2007, 35 (2): 60-61.
- [27] 陆雅海, 张福锁. 根际微生物研究进展 [J]. 土壤, 2006, 38 (2): 113-121.