第 40 卷 第 5 期
2003 年 9 月

土 壤 学 报
ACTA PEDOLOGICA SINICA

Vol. 40, No. 5
Sep., 2003

旱作水稻与花生间作系统中的氮素固定与转移及其对土壤肥力的影响*

褚贵新 沈其荣† 曹金留 茆泽圣 钟增涛 赵 龙
(南京农业大学资源与环境学院植物营养系, 南京 210095)

摘 要 以花生和旱作水稻为材料, 采用分隔方法和^{15}N同位素示踪法, 在不同氮素水平下研究了水稻与花生间作复合体的氮素营养优势、间作花生的生物固氮效率、花生体内氮素向水稻的转移。并在田间条件下研究了花生单作、水稻单作、水稻/花生间作 3 种栽培方式下对土壤氮素肥力的影响。结果表明: (1) 水稻和花生间作有产量优势和氮素营养优势, 在 N 0 kg hm^{-2}、N 225 kg hm^{-2}和 N 300 kg hm^{-2}三个氮素水平下, 根系不分隔的水稻生物量分别比分隔处理的高 30.03%、10.1%和 2.2%; 水稻氮素吸收量分别比分隔处理的高 74.03%、16.93%和 23.2%; (2) 花生在 N 225 kg hm^{-2}和 N 300 kg hm^{-2}氮素水平下, 分隔处理和不分隔花生固氮量分别为 38.11%、40.97%和 14.81%、20.49%, 间作能提高花生固氮效率; (3) 花生体内氮素在共生期内可以转移到水稻体内, 花生固氮量和氮素转移没有相关; (4) 与水稻单作比较, 花生/水稻间作可以改善土壤的氮素营养。

关键词 旱作水稻, 花生, 间作, 生物固氮, 氮素转移, 土壤肥力
中图分类号 S158.3

禾本科/豆科间作是一种广泛的种植方式, 一般具有明显的产量优势。其增产的主要原因是, 豆科作物不仅能通过生物固氮作用(Biological Nitrogen Fixation, BNF) 满足自身的氮素营养需求, 还可以把固定的氮素直接转移给与其邻近的作物[1], 或通过豆科作物的氮素节约效应[2] (Nitrogen Sparing Effect), 节约土壤氮素供给与其邻近的作物, 从而为间作优势提供了氮素营养保证。豆科作物的 BNF 是农业生态系统中的重要氮源, 在间套作中充分利用豆科植物是节约能源、提高作物产量的重要途径[2]。近几年国内外学者对合理利用豆科固氮作用降低农业氮肥投入, 提高土壤肥力和作物产量, 缓解环境污染的压力进行了广泛的研究。Fujita 等[3]研究发现大豆/高粱间作使高粱氮素含量和产量有明显的提高。Evans 等[4]在大田条件下研究了豆科的氮素固定及其对土壤氮素肥力的影响, 羽扇豆、豌豆平均固氮量分别为 65%、61%, 相当于固氮量为 N 98.5 kg hm^{-2}、N 80.5 kg hm^{-2}。朱树秀等[5]用玉米和大豆混作, 发现玉米从大豆固氮产物中获得氮素 13.72% ~ 22.14%。TA 等[6]用 3 种^{15}N标记方法发现苜蓿固氮量的 3%转移到了梯牧草中。但也有一些研究指出, 氮素在间作中的转移量很小或根本不存在氮素的净转移[7]。这说明间作是一个复杂的系统, 在间作中如何才能充分利用产量优势? 哪些因素影响氮素固定和转移? 这些问题值得进行深入研究。

我国水资源匮乏, 农业又是用水大户。传统的水稻生产用水量十分巨大, 最近的研究表明水稻旱作是一条可行的农业节水途径[8]。这为水稻和花生间作提供了可能。本文通过研究旨在探索: (1) 水稻旱作下与花生间作的新耕作栽培模式; (2) 水稻/花生间作的产量优势及其影响因素; (3) 间作下的氮素固定与转移; (4) 间作对土壤氮素肥力的影响。

1 材料与方法

1.1 供试土壤与作物

试验在南京农业大学资源与环境学院温室进行, 供试水稻品种是武育粳 99_15 号, 花生品种为郑远

* 国家自然科学基金项目(30200036, 30070446) 资助
† 通讯作者, E-mail: qrshen@njau.edu.cn
收稿日期: 2002-07-16; 收到修改稿日期: 2002-11-15

杂9102。土壤采自江苏省南通市搬经镇的高沙土,为0~20 cm的表层土。前茬作物为花生。耕层土壤有机质含量6.9 g kg^{-1},全氮0.56 g kg^{-1},碱解氮47.25 mg kg^{-1},全磷0.64 g kg^{-1},有效磷(Olsen-P)6.56 mg kg^{-1},全钾9.7g kg^{-1},有效钾39.69 mg kg^{-1},pH值(土:水=1:2.5)8.2。

1.2 实验设计和方法

1.2.1 ^{15}N同位素标记盆栽分隔实验 试验设2个种植方式:塑料膜分隔和不分隔;3个施氮水平:低氮(N 0 kg hm^{-2}),中氮(N 225 kg hm^{-2}),高氮(N 300 kg hm^{-2})。所用氮肥为尿素,^{15}N的丰度为10.32%,由上海化工研究院生产。施用方法为1/2的$CO(^{15}NH_2)_2$溶于水,种植前均匀地施入土壤,在花生开花期1/2的$CO(^{15}NH_2)_2$溶于水用注射法小心施入土壤,防止^{15}N污染植株叶片。其它营养元素在播种前溶于水一次施入,以浓度计,分别施P 100 mg kg^{-1}(CaH_2PO_4),K 80 mg kg^{-1}(KCl),Fe 10 mg kg^{-1}($FeSO_4$),Zn 10 mg kg^{-1}($ZnSO_4$),Mo 10 mg kg^{-1}($MoSO_4$)。将风干土过2.5mm筛,每盆装土17 kg。每盆水稻6株,花生6株,种植比例1:1。水稻苗龄4叶1心于2001年6月14日移植,花生于6月20日播种,6月26日出苗。

1.2.2 田间小区试验 小区面积2.8 m×1 m。设3个种植方式,分别为水稻单作、花生单作、水稻/花生间作,水稻花生等行距种植,15 cm×20 cm。水稻每穴2株,花生每穴2株,种植密度为67株m^{-2}。种植比例1:1。水稻苗龄4叶1心,于2001年6月14日移植,花生于6月20日播种,6月26日出苗,不施氮肥,P、K肥施量分别为P 100 mg kg^{-1}(CaH_2PO_4),K 80 mg kg^{-1}(KCl)。试验完全随机区组排列,3次重复。整个生育期分8月1日、8月15日、9月1日、9月15日采集各处理的土壤样测定土壤全氮、碱解氮、硝态氮、铵态氮。并测定各小区的生物量和产量。

1.3 样品采集、分析及计算方法

1.3.1 样品采集 盆栽试验的植株样在10月5日收获,并把各器官分开,水稻地上部分分为穗、叶片、茎杆、叶鞘和根系;花生分为叶片、茎杆、根系。在105℃杀青30min,在75℃温度下烘至恒重。分别称干物质重,粉碎测定全氮含量并用质谱仪(型号为ZHF-03,^{15}N分析误差为0.015%)测定^{15}N丰度。

1.3.2 分析方法 土壤全氮用凯氏半微量蒸馏定氮法,并进行质谱分析,测定^{15}N丰度。铵态氮用靛酚蓝比色法[9],硝态氮用Cu-Cd还原柱法[9],碱解氮用碱解扩散法。

1.3.3 计算方法 试验中把施用^{15}N肥料处理的植株样品^{15}N的丰度与不施^{15}N植株样品丰度差值计为该样品的^{15}N原子百分超(atom % excess, A%E)。

(1) 花生固氮%(%NDFA),即花生固定空气中氮素占植株全氮的百分数[10]

$$\%NDFA(单作花生) = (1 - A\%E\ 单作花生 / A\%E\ 单作水稻) \times 100$$

$$\%NDFA(间作花生) = (1 - A\%E\ 间作花生 / A\%E\ 单作水稻) \times 100$$

(2) 花生向旱作水稻氮素转移百分率%(%NTFL),%NTFL = 1 - (A%E间作水稻/A%E单作水稻)

(3) 植株从土壤(%NDFS)或肥料(%NDFF)吸取氮素占植株全氮的%

$$\%NDFF = (A\%E\ 植株样品) / (A\%E\ 肥料样品)$$

$$\%NDFS = 1 - \%NDFF$$

2 结果与分析

2.1 间作条件对植株生物量和氮素吸收的影响

由表1可看出,不同氮素水平下水稻、花生的生物量和氮素吸收量有明显的差异,地下部隔开处理对水稻生物量和氮素吸收量的影响很大,而对花生生长的影响较小。在同一氮素水平下,根系分隔处理影响了水稻的生长量,明显降低了水稻对氮素的吸收,这种现象在低氮水平下表现很突出,经方差分析,不施氮肥处理,分隔后显著地减少了水稻生物量和氮素吸收量。在低氮、N 225 kg hm^{-2}、N 300 kg hm^{-2}三个氮素处理下,根系不分隔处理的水稻生物量比根系分隔处理的分别高出30.03%、10.1%和2.2%;根系不分隔的水稻氮素吸收量比根系分隔处理的分别高出74.03%、16.93%和23.2%。这表明间作对水稻生物量和氮素营养有明显的优势,由于地上部环境条件完全相同,因此,可以推断优势的产生主要来自地下部的作用。塑料膜分隔后,种间的地下部相互作用被消除,阻止了养分的移动,减少了水稻氮

素吸收。不分隔处理的两种作物在氮素养分利用存在空间上的互补, 从而促进了体系中的氮素养分优势。Marianne 等[11]在研究豆类与燕麦或小麦间作时也发现了和本试验相似的结果, 即豆类与燕麦或小麦在间作条件下, 复合体的生物量、籽粒产量、氮素吸收量都明显大于在单作条件下的结果。

表 1　种间分隔和氮素水平对水稻、花生生物量和吸氮量的影响

Table 1　Effect of root partitions and nitrogen rate on biomass and nitrogen uptake by rice and groundnut

氮肥水平 Nitrogen rates ($kg\ hm^{-2}$)	生物量 Above-ground Biomass				吸氮量 Above-ground nitrogen uptake			
	水稻 Rice		花生 Groundnut		水稻 Rice		花生 Groundnut	
	塑料膜隔开 Plastic partition	不隔 No partition	塑料膜隔开 Plastic partition	不隔 partition No	塑料膜隔开 Plastic partition	不隔 No partition	塑料膜隔开 Plastic partition	不隔 No partition
	($g\ pot^{-1}$)				($mg\ pot^{-1}$)			
0	37.95a	49.35b	18.24 a	14.86a	267.7a	465.9b	316.5 a	280.2b
225	43.15a	47.51a	27.45a	27.31a	405.8a	474.3b	487.1a	482.1a
300	50.02a	51.11a	23.23a	26.91a	446.7a	550.3a	469.8a	524.6a

注: 字母表示在 5% 检验水平的显著性检验

2.2　间作条件下花生的固氮量

豆科作物的生物固氮易受外界影响, 其固氮量有很宽泛的范围。由表 2 可看出, 300 $kg\ hm^{-2}$ 氮素处理的花生其固氮率低于 225$kg\ hm^{-2}$ 处理, 即氮素水平越高, 则固氮率越低。这和前人的研究结果一致[12], 说明高氮素水平对花生生物固氮有抑制作用; 分隔处理也对花生的生物固氮有影响, 如在 225 $kg\ hm^{-2}$ 的氮素水平下分隔和不分隔处理固氮率分别为 38.11%、40.97%, 两种作物根系交错接触可以提高固氮率 2.8%; 在 300 $kg\ hm^{-2}$ 的氮素水平下, 不分隔处理比分隔处理提高固氮率 6.4%。不分隔处理在 225 $kg\ hm^{-2}$ 和 300 $kg\ hm^{-2}$ 氮素水平下, 花生的总固氮量分别为 13.74$mg\ pot^{-1}$ 和 16.39 $mg\ pot^{-1}$, 比分隔处理的分别高出 18.76% 和 18.63%。由此说明两种作物间作后可以刺激花生的生物固氮作用, 提高花生的固氮率和生物固氮量。

表 2　水稻和花生体内的 ^{15}N 原子百分超及花生在不同处理条件下的生物固氮量

Table 2　^{15}N atom % excess in rice and groundnut and biological nitrogen fixation in different conditions

处理 Treatment	氮肥水平 Nitrogen rate($kg\ hm^{-2}$)	花生 ^{15}N Groundnut ^{15}N% atom excess(%)	水稻 ^{15}N Rice ^{15}N% atom excess(%)	固氮率 Nitrogen derived from air(%)	固氮量 Amount of nitrogen fixed ($mg\ pot^{-1}$)
塑料膜分隔	0	0	0	nd	nd
	225	2.25 (0.41)	4.16 (0.30)	38.11 (1.17)	12.47 (0.62)
	300	3.53 (0.58)	4.14 (0.45)	14.81 (2.63)	13.74 (0.57)
不分隔	0	0	0	nd	nd
	225	2.46 (0.36)	3.55 (0.28)	40.97 (1.02)	14.81 (1.05)
	300	3.30 (0.87)	4.51 (0.61)	20.49 (1.71)	16.39 (0.82)

注: 表中数据为 3 次平均值, 括号内为标准, nd: 未测定

2.3 氮素在间作复合体的转移

花生固定的氮素能否向水稻转移并被水稻吸收利用？用^{15}N示踪和分隔处理试验表明，间作系统中花生固定的氮可以向水稻转移(表3)，在两种氮素水平下，分隔处理的水稻体内^{15}N原子百分超均高于不分隔处理，这是由于花生固定氮素向水稻转移后，稀释了水稻体内^{15}N(Isotope Dilution, ID)，而且在氮素水平低的条件下，氮素转移量高，如在N 225 kg hm^{-2}和N 300 kg hm^{-2}的氮素水平下，其转移量分别为2.17%和1.44%。即在氮素水平低的土壤，花生向水稻的氮素转移更明显。华珞等[13]在研究白三叶草/黑麦草间作中也发现适量氮肥(N 30 mg kg^{-1})可以促进固定氮的转移，高氮水平(N 46 mg kg^{-1})抑制氮素转移。水稻单作所需氮来自土壤和肥料，间作后增加了花生生物固氮这第三种氮源，在225 kg hm^{-2}氮素水平下，间作水稻从土壤和肥料中吸收氮素分别为24.25%、65.75%，比在单作下从土壤和肥料中吸收氮量分别减少了2.83%和12.38%。300 kg hm^{-2}氮素水平水稻不分隔处理从土壤吸氮量为68.3%，比分隔处理减低了11.73%。

表3 水稻/花生间作系统水稻的氮素来源及花生氮素转移

Table 3 Nitrogen uptake by rice from different resources in different cultivation systems

施氮水平 Nitrogen rate (kg hm^{-2})	栽培方式 Cultivation pattern	肥料氮 Nitrogen derived from fertilizer (%)	土壤氮 Nitrogen derived from soil (%)	转移氮 Nitrogen derived from groundnut (%)	转移量 Amount of nitrogen transferred (mg pot^{-1})
225	单作	24.96 (1.14)	75.03 (4.62)	–	–
	间作	24.25 (1.37)	65.75 (2.08)	2.17 (0.04)	14.57 (1.22)
	减低(%)	2.83	12.38		
300	单作	23.81 (1.55)	76.19 (3.01)	–	–
	间作	31.97 (2.03)	68.03 (5.35)	1.44 (0.04)	8.78 (1.88)
	减低(%)	nd	10.71		

注：表中数据为3次平均值，括号内为标准差，nd：未测定

2.4 间作对土壤肥力的影响

在作物生长期间，土壤中的速效氮的消长变化可以反映出作物对土壤养分的吸收利用情况，从图1、图2可以看出，土壤NH_4^+-N在生长季节中呈下降趋势，但种植水稻的下降最快，间作次之，种植花生的土壤NH_4^+-N下降明显变慢；土壤NO_3^--N则呈现上升趋势，尤其到生长后期种植花生的土壤NO_3^--N上升很快，比较而言种植水稻的土壤NO_3^--N后期下降明显，水稻/花生间作的居中。由此可以说明，花生利用土壤速效氮少于水稻，两种作物间作可以充分利用花生的生物固氮满足一部分氮素营养需求，减少作物对土壤氮素的依赖性和对土壤氮素的消耗。Anuar等[14]研究表明，在不同土壤上花生根系残茬和根瘤向土壤中释放氮素为N 77~105 kg hm^{-2}，可以满足后作玉米吸氮量的35%，花生连续种植1、2、3年其后茬的玉米产量分别为同等施肥量的5%、20%~24%、48%~64%。Herridge等[10]指出鹰嘴豆/大麦间作可以使土壤氮素平均增加N 11 kg hm^{-2}。从图3也可以看出种植花生的土壤碱解氮不但没有下降，反而呈上升趋势，间作土壤碱解氮的下

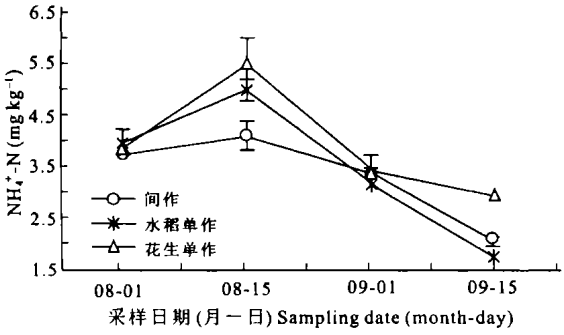

图1 不同处理土壤铵态氮的变化

Fig. 1 Soil NH_4^+-N in different treatments

降比水稻单作的慢,这也从另一个角度证实豆科作物对肥力的作用。如张忠训[15]在夏玉米/大豆间作研究中发现间作土壤速效氮总是略高于单作玉米而低于单作大豆。田慧梅[16]在玉米/草木犀间作体系也发现间作后提高了土壤氮素肥力。

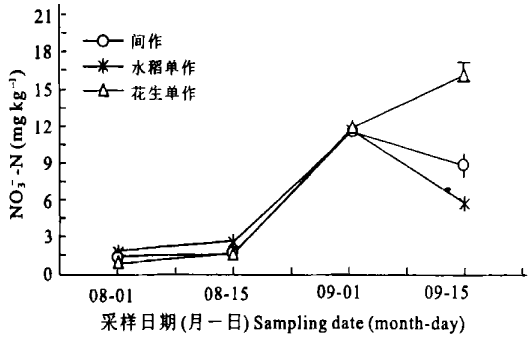

图 2　不同处理土壤硝态氮的变化

Fig. 2　Soil NO_3^- N in different treatments

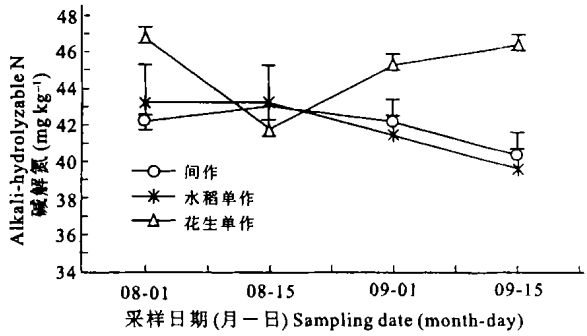

图 3　不同处理土壤碱解氮的变化

Fig. 3　Aikali-hydrolyzable nitrogen of soil in different treatments

3　讨　论

3.1　水稻/花生间作中的产量优势的原因

研究发现,水稻旱作/花生间作有一定产量优势(表 1)。间作产量优势的产生往往是以营养优势为基础的。与花生相比,水稻是优势组分,其氮素吸收能力优于花生,间作后二者营养吸收具有互补性,花生利用生物固氮并把土壤中一部分氮节约下来供给水稻或直接传递转移供给水稻,减少了土壤氮素的竞争。水稻通过降低土壤氮素刺激根瘤固定更多的氮素,使两种作物都拓宽了养分利用的空间生态位(Space niche),从生态学角度分析[17],在资源可利用性减少的情况下,物种的生态位宽度(Niche breadth)应该增加,使单位面积的报酬达到最大。本试验同时发现间作提高了花生根际土的 DTPA-Fe、DTPA-Zn 含量。间作后在两种作物根系分泌物作用下,改变根际微生态条件是否是刺激固氮酶活性提高花生固氮效率的一个机理? 有待于进一步研究。

3.2　间作下花生氮素的生物固定与转移

一般认为,土壤肥力低时豆科植物固氮效率较高。这是由于土壤硝酸盐对固氮酶活性有抑制作用。这一结果在试验中也得到了证实(表 2),本实验由于施肥量高,而导致花生的生物固氮量在 40% 左右,低于通常测定值 70% ~ 85%。Ofostr Budu[18]指出间作系统中高粱的^{15}N 丰度始终低于单作系统,他认为是由于豆科固定空气中氮直接转移到高粱体内,把高粱^{15}N 丰度稀释的结果,但 Peoples[2]却认为是“氮

素节约效应" 造成的。Fujita 等[19]研究了大豆/ 高粱间作系统在 4 个种植密度下的氮素转移, 其转移量随密度而增大, 而且土壤氮素缺乏时转移量增加, 还指出固氮量和氮素转移量呈反比例关系。这说明氮素转移与根系间距离、土壤条件有关。间作中两种作物根系交错程度高利于氮素的转移, 这和本试验结果一致(表 3) 。但本试验发现氮素转移不受花生固氮量的影响。

3.3 间作后对土壤氮素肥力的影响

豆科作物后茬增产的原因, 可解释为轮作效应和氮素残留效应两方面。豆科作物通过 BNF 减少了对土壤氮素的消耗, 并以根系、根瘤、脱落物、分泌物等形式向土壤残留氮素, 提高土壤肥力。Sawatsk[20]用^{15}N 标记和分根法试验发现豌豆生长期间氮素的根际沉积量占根系氮素的 22% ~ 66%。如果间作中豆科作物固氮量大, 并且对禾本科氮素的转移量多, 则可能对土壤氮素平衡产生正效应, 有利于养分的积累或减少养分的下降程度。本试验发现间作土壤速效氮素含量下降程度低于水稻单作(图 1、图 2、图 3) 。Herridge[10]研究表明豆科后作增产一般在 1 000~ 2 000 kg hm^{-2}, 相当于施用氮肥 N 50~ 100 kg hm^{-2}, 其作用在于改善土壤结构, 提高了土壤硝态氮含量。

4 结 论

旱作水稻/ 花生间作有明显的优势, 间作条件下旱作水稻的干物质产量和氮素吸收量显著大于单作水稻, 间作提高了土地当量比率(Land Equivalent Ratio, LER) 。间作复合体的氮素营养优势是间作产量优势的基础。

间作刺激了花生生物固氮量, 土壤高氮水平对花生固氮有抑制作用。花生的生物固氮与其氮素转移之间没有相关, 土壤氮素水平影响花生氮素向旱作水稻体内转移, 花生与水稻间作对提高土壤氮素肥力有一定积极的作用。

参考文献

1. Stern W R. Nitrogen fixation and transfer in intercrop systems. Field Crop Research, 1993, 34: 335~ 356
2. Peoples M B, Herridge D E, Ladha J K. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production. Plant and Soil, 1995, 174: 3~ 28
3. Fujita K, Ofosu-Budu K G, Ogata S. Biological nitrogen fixation in mixed legume-cereal cropping system. Plant and Soil, 1992, 141: 155~ 175
4. Evans J, O Connor G E, Turner G L, *et al*. N_2 fixation and its value to soil N increase in lupin, field pea and other legume in South-Easter Australia. Aust. J. Agric. Res., 1989, 40: 791~ 805
5. 朱忠秀, 杨志忠. 紫花苜蓿与老芒麦混播优势的研究. 中国农业科学, 1992, 25(6): 63~ 68
6. Ta T C, Faris M A. Effects of environment conditions on the fixation and transfer of nitrogen from alfalfa to associated timothy. Plant and Soil, 1988, 107: 25~ 30
7. Johansen A, Jensen E S. Transfer of N and P from intact or decomposition roots of pea to barley interconnected by an Arbuscular Mycorrhizal fungus. Soil Biol. Biochem., 1996, 28: 73~ 81
8. 梁永超, 胡峰, 杨茂成, 等. 水稻腹膜旱作下的节水机理. 中国农业科学, 1999, 32(1): 26~ 32
9. Sparks D L, Page A L, Loeppert P A, *et al*. Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Analysis. Soil Science Society of American and American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA, 1996. 1 146~ 1 157
10. Herridge D F, Marcellos H, Felton W L, *et al*. Chickpea increases soil-N fertility in cereal system through nitrate sparing and N_2 fixation. Soil Biol. Biochem., 1995, 27: 545~ 551
11. Karpenstierr-Machan M, Stuelpnagel R. Biomass yield and nitrogen fixation of legumes monocropped and intercropped with rye and effect on subsequent maize crop. Plant and Soil, 2000, 218: 215~ 232
12. Searle P G, Comudom Y, Shedden D C, *et al*. Effect of maize + legume intercropping system and fertilizer nitrogen on crop yield and residual nitrogen. Field Crop Reseach, 1981, 4: 133~ 145
13. 华 珞, 韦东普, 白玲玉, 等. 氮锌硒肥配合施用对白三叶草的固氮作用与氮素转移的影响. 生态学报, 2001, 21(4): 588~ 592
14. Anuar A R, Shamsuddin Z H, Yaacob O. Contribution of legume-N by nodulated groundnut for growth of maize on an acid soil. Soil Biol. Biochem., 1995, 27: 595~ 601

15. 张训忠, 李伯航. 高肥力条件下夏玉米大豆间混作互补竞争效应研究. 中国农业科学, 1987, 20 (2): 34~ 42
16. 田慧梅, 季尚宁. 玉米草木犀间作效应分析. 东北农业大学学报, 1997, 28(1): 15~ 22
17. 骆世明, 彭少麟编著. 农业生态系统分析. 种群系统的动态模拟. 广州: 广东科学技术出版社, 1996. 259~ 269
18. Ofosu Budu K G, Noumuer K, Fujita K. N_2 fixation, N transfer and biomass production of soybean cv. Brage or its supernodulating nts 1007 and sorghum mixed-cropping at two rate of N fertilizer. Soil Biol. Biochem., 1995, 27(3): 311~ 317
19. Fujita Kounosuke, Shoitsu Ogata, Katsushi Matsumoto, *et al*. Nitrogen transfer and dry matter production in soybean and sorghum mixed cropping system at different population densities. Soil Sci. Plant Nutri., 1990, 36: 233~ 241
20. Sawatsk N, Soper R J. A quantitative measurement of the nitrogen loss from the root system of field peas (*Pisum avense* L.) grown in the soil. Soil Biol. Biochem., 1991, 23: 255~ 259

BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION AND NITROGEN EXPORT OF GROUNDNUT INTERCROPPED WITH RICE CULTIVATED IN AEROBIC SOIL AND ITS EFFECT ON SOIL NITROGEN FERTILITY

Chu Gui-xin　Shen Qi-rong　Cao Jin-liu　Mao Ze-sheng　Zhong Zeng-tao　Zhao Long
(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Summary

With root partition method and ^{15}N-isotope dilution method, field and pot experiments were conducted to examine the research included the effects of intercropping of rice cultivated aerobic soil and groundnut on dry matter production, quantity of nitrogen uptake, biological nitrogen fixation, and nitrogen transfer from groundnut to rice at three nitrogen level, namely 0, N 225 kg hm^{-2}, N 300 kg hm^{-2}. Soil nitrogen fertility was also investigated under the new cultivation system. The results show that 1) there was a yield advantage in the new intercropping system compared to monocrop rice. The dry matter, for example, of rice in intercropping at three nitrogen application rates were 30.03%, 10.1%, 2.2% higher than those in monocropping, respectively, and the same situation happened for the nitrogen uptake. 2) Biological nitrogen fixation estimated by ^{15}N-isotope dilution method in groundnut decreased with the increase nitrogen level while intercropping can improve biological nitrogen fixation of groundnut. 3) N-transfer from groundnut to rice was evident but no co-relation between biological nitrogen fixation and nitrogen transfer was found in this experiment. 4) Intercropping system could increase significantly the mineral nitrogen during the whole growth stage, thus improving soil nitrogen fertility.

Key words　Rice cultivated in aerobic soil, Groundnut, Intercropping, Biological nitrogen fixation, Nitrogen transfer, Soil fertility