

· 热带植物 ·

DOI: 10.15886/j.cnki.rdswwb.20240004



主持人:徐 冉

香蕉间作绿肥对土壤氮转化及叶片酶活性的影响

吕荣婷, 刘新月, 伍巧慧, 龚文坤, 王蓓蓓

(海南大学 热带农林学院, 海口 570228)

摘 要:为探明豆科绿肥与香蕉间作下的土壤氮转化及氮代谢的变化规律,本研究采用盆栽试验,设置单作香蕉(*Mimosa nana*)、间作白三叶草(*Trifolium repens*)、间作草木樨(*Melilotus officinalis*)、间作黑麦草(*Lolium perenne*)4个处理,测定不同时期的土壤养分含量及氮代谢关键酶的变化。结果表明:香蕉与豆科绿肥间作的土壤pH、有机质、碱解氮、全氮、有效磷和速效钾的含量均有不同程度的提高,同时也提高了土壤中铵态氮、硝态氮的含量,增加了土壤中氮素的净矿化速率和净硝化速率。与单作香蕉相比,间种豆科绿肥后,香蕉叶片的硝酸还原酶(NR)、亚硝酸还原酶(NiR)及谷氨酰胺合成酶(GS)的活性均有明显提高。土壤铵态氮、硝态氮与亚硝酸还原酶(NiR)、谷氨酰胺合成酶(GS)、谷氨酸合成酶(GOGAT)间表现出显著的正相关关系。

关键词:豆科绿肥;香蕉;间作;氮转化;酶活性

中图分类号:S668.1

文献标志码:A

文章编号:1674-7054(2024)04-0407-07

吕荣婷,刘新月,伍巧慧,等.香蕉间作绿肥对土壤氮转化及叶片酶活性的影响[J].热带生物学报,2024,15(4):407-413. doi:10.15886/j.cnki.rdswwb.20240004

氮素作为植物必需养分之一,在植物的氮代谢过程中发挥着重要作用^[1]。土壤中的铵态氮和硝态氮是植物所能利用的主要无机氮源,也是参与植物氮素同化过程的重要组分^[2]。研究表明,施用适量的铵、硝态氮可以提高植物的鲜重,改善植物的生长发育和品质^[3-5];同时,适宜的 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例^[6-7],还能提高植物体内相关酶的活力,从而提高作物的生长发育。植物吸收利用铵、硝态氮依赖于体内的氮代谢相关酶^[8],间作豆科绿肥如白三叶草(*Trifolium repens*)、黑麦草(*Lolium perenne*)和草木樨(*Melilotus officinalis*),能增强作物对氮素的利用效率,促进作物的生长发育,从而提高作物的品质^[9-11]。当前,与豆科绿肥间作是增加土壤养分,提高作物产量的一种常见的种植模式^[12-14],而关于间作豆科绿肥对香蕉(*Musa nana*)土壤氮素转化及氮代谢影响的报道较少,因此,本研究通过盆栽试验,探究间作豆科绿肥(白三叶草、黑麦草和草木樨)对香蕉土壤氮素转化的影响,旨在探明间作豆科绿肥

对连作蕉园土壤氮素的动态变化。

1 材料方法

1.1 试验材料 供试土壤来自海南省澄迈县福山镇($19^{\circ}23'N, 109^{\circ}E$)连续单作香蕉12年的蕉园土,其土壤理化性质如下:土壤pH5.39、有机质 $20.62\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $102.34\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、铵态氮 $30.00\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、硝态氮 $3.80\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全氮 $164.00\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、有效磷 $128.75\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $112.23\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

供试香蕉来自海南大学儋州校区基地,为苗龄2个月的巴西蕉;供试绿肥为草木樨、黑麦草和白三叶草,由江苏省千花百魅种业有限公司提供。

1.2 试验方案 盆栽试验始于2021年12月的海南大学海甸校区农科基地,为期3个月,共设置4个处理:香蕉(CK);香蕉+草木樨(BM);香蕉+白三叶草(BT);香蕉+黑麦草(BR),每个处理种植25盆,每盆装供试土壤3 kg。供试绿肥于海南大学海甸校区农科基地田地中播种,待长至约10 cm

收稿日期:2024-01-09

修回日期:2024-03-27

基金项目:国家自然科学基金项目(42367015);海南省自然科学基金高层次人才项目(320RC483;421RC1057)

第一作者:吕荣婷(1998-),女,海南大学热带农林学院2021级硕士研究生。E-mail:1664767241@qq.com

通信作者:王蓓蓓(1987-),女,博士,副教授。研究方向:土壤微生物。E-mail:345814069@qq.com

后,将绿肥植株整个拔起,用清水洗净其根系附着土壤后与香蕉植株共同栽至盆栽中,每盆均种植1株香蕉苗和20株绿肥,期间水分正常管理。

1.3 土壤样品采集 移栽后15、30、60、90 d进行采样,每次每个处理随机选取6盆采样。将整个香蕉和所有绿肥植株根系所抖落的土收集,过2 mm筛后取部分土样于4℃保存,剩余土样置于通风阴凉处风干后保存待测。

1.4 植物样品采集 用5 mm打孔器在香蕉功能叶片的中段获取小圆片,每个处理采集9张叶片,每3张叶片混合成一份样,将小圆片用锡箔纸包好,放入液氮中保存,以便用于后续叶片酶活性测定实验。

1.5 土壤理化性质的测定 参照鲍士旦第3版《土壤农化分析》^[15]中的方法进行测定(土壤铵态氮采用靛酚蓝比色法,土壤硝态氮采用紫外分光光度法)。

土壤净矿化速率、净氨化速率、净硝化速率的计算公式如下:

净矿化速率=净氨化速率+硝化速率;

净氨化速率=[移栽后(NH₄⁺-N含量)–[移栽前(NH₄⁺-N含量)]/培养天数;

净硝化速率=[移栽后(NO₃⁻-N含量)–[移栽前(NO₃⁻-N含量)]/培养天数。

1.6 香蕉叶片酶活性的测定 取0.10 g叶片于研钵中,加入液氮研磨成匀浆,后续测定步骤参照植物酶活试剂盒中的方法。

1.7 数据处理 通过Excel 2019、Origin 2019b软件进行基础数据处理与数据图绘制,采用IBM SPSS Statistics 21软件进行单因素方差分析($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 香蕉间作豆科绿肥对土壤理化性质的影响

由表1可知,与单作香蕉相比,间作不同品种绿肥均能显著提高土壤的pH、有效磷、速效钾及有机质的含量。随着种植时间的延长土壤pH值逐渐

表1 间作绿肥对土壤理化性质的影响
Tab. 1 Effects of intercropping of banana with green manure crops on soil physical and chemical properties

	处理 Treatments	pH	有机质/(g·kg ⁻¹) Organic Matter	碱解氮/(mg·kg ⁻¹) Available Nitrogen	全氮/(g·kg ⁻¹) Total Nitrogen	有效磷/(mg·kg ⁻¹) Available Phosphorus	速效钾/(mg·kg ⁻¹) Available Potassium
15	CK	5.47 ± 0.00c	19.03 ± 0.05d	95.57 ± 0.37b	0.114 ± 0.01c	99.33 ± 0.66c	78.05 ± 1.18c
	BM	5.52 ± 0.00b	21.07 ± 0.03a	97.06 ± 0.37ab	0.098 ± 0.01d	101.62 ± 0.33b	91.51 ± 0.69a
	BR	5.56 ± 0.00a	20.14 ± 0.15b	96.32 ± 0.64ab	0.124 ± 0.78a	90.56 ± 0.57c	74.02 ± 0.92d
	BT	5.52 ± 0.00b	19.71 ± 0.07c	97.81 ± 0.37a	0.117 ± 0.82b	102.96 ± 0.33a	82.69 ± 0.24b
30	CK	5.52 ± 0.01d	22.08 ± 0.54c	97.44 ± 0.64b	0.109 ± 0.02c	76.95 ± 0.33c	73.34 ± 0.75b
	BM	5.61 ± 0.00c	24.20 ± 0.11a	96.69 ± 0.37b	0.119 ± 0.01ab	80.20 ± 0.00b	82.05 ± 1.54a
	BR	5.75 ± 0.00a	24.09 ± 0.45a	95.94 ± 0.37b	0.122 ± 0.02a	98.56 ± 0.58c	63.36 ± 0.48d
	BT	5.72 ± 0.01b	22.98 ± 0.29b	98.93 ± 0.37a	0.117 ± 0.01b	88.43 ± 0.66a	70.58 ± 1.05c
60	CK	5.62 ± 0.01d	19.03 ± 0.05c	102.34 ± 0.00b	0.114 ± 0.01c	65.48 ± 0.33c	27.46 ± 0.18c
	BM	5.67 ± 0.01c	20.68 ± 0.16b	104.32 ± 0.39a	0.122 ± 0.01a	76.76 ± 0.57a	60.77 ± 2.42a
	BR	5.80 ± 0.00a	21.00 ± 0.05a	90.44 ± 0.69d	0.111 ± 0.02b	62.61 ± 0.87b	50.30 ± 3.14b
	BT	5.78 ± 0.01b	21.09 ± 0.07a	97.18 ± 0.40c	0.114 ± 0.01b	76.95 ± 0.33a	52.56 ± 0.37b
90	CK	5.82 ± 0.01c	15.98 ± 0.09d	105.12 ± 0.40a	0.101 ± 0.02c	60.51 ± 1.19c	25.62 ± 0.42d
	BM	5.98 ± 0.50a	16.73 ± 0.17c	101.94 ± 0.40b	0.119 ± 0.01a	63.18 ± 0.66b	29.36 ± 0.24c
	BR	5.99 ± 0.00a	18.28 ± 0.15a	88.85 ± 0.79d	0.112 ± 0.01b	62.61 ± 0.33b	65.56 ± 1.92a
	BT	5.66 ± 0.00b	17.56 ± 0.08b	94.80 ± 1.43c	0.117 ± 0.02a	65.48 ± 0.33a	55.4 ± 0.66b

注:CK:单作香蕉;BM:香蕉间作草木樨;BR:香蕉间作黑麦草;BT:香蕉间作白三叶草。表中数据为平均值±标准差,不同字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$),下同。

Note: CK: Banana alone; BM: Banana intercropped with *Melilotus officinalis*; BR: Banana intercropped with *Lolium perenne*; BT: Banana intercropped with *Trifolium repens*. The data in the table are mean ± standard deviation, and different letters indicate significant differences between treatments ($P<0.05$), similar hereinafter.

升高,而土壤有效磷和速效钾的变化趋势与之相反,土壤有机质含量则是呈现出先增加后降低的趋势,并在种植30 d时达到最高值。此外,移栽不超过30 d时,间作白三叶草的土壤碱解氮和全氮含量均显著高于单作香蕉处理。

2.2 间作豆科绿肥对香蕉土壤氮素转化作用的影响

2.2.1 间作绿肥下土壤铵、硝态氮含量的变化

间作绿肥对土壤铵、硝态氮的含量的影响较大(图1-A、B)。当移栽15 d时,与其他处理相比,间

作白三叶草的土壤铵态氮含量显著降低,而土壤硝态氮含量显著增加,30 d时,间作白三叶草处理的土壤铵态氮含量与间作草木樨处理的土壤硝态氮含量均显著高于其他处理,60 d时,间作黑麦草处理的土壤铵、硝态氮含量显著高于单作香蕉处理,90 d时,间作黑麦草和白三叶草处理的土壤铵、硝态氮含量均显著高于单作香蕉处理。由此可见,间作白三叶草和黑麦草更能提高土壤中的铵、硝态氮含量。

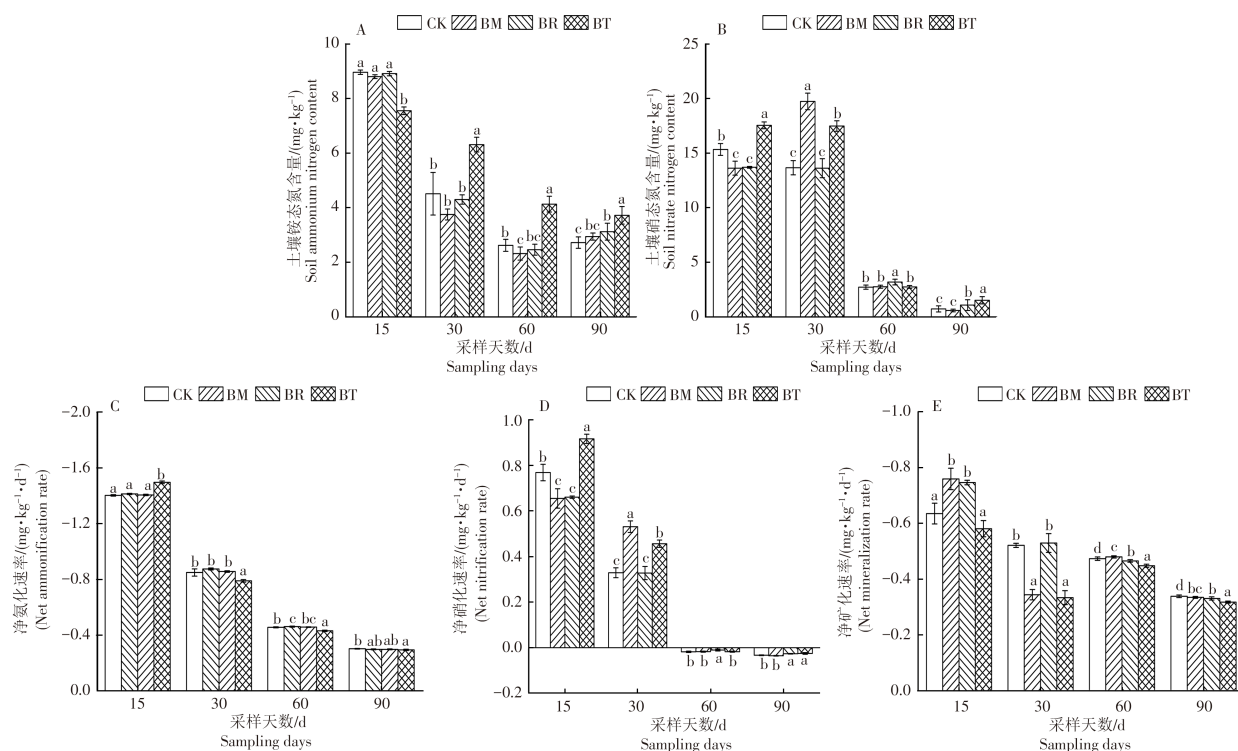


图1 间作绿肥下土壤氮素转化的改变

Fig. 1 Changes of soil nitrogen transformation in banana intercropped with green manure crops

2.2.2 间作绿肥下土壤净氨化速率的变化

从图1-C可以看出,净氨化速率随着作物种植时间的延长而增加。当种植15 d时,间作白三叶草处理的净氨化速率显著小于其他处理,但到了30 d其速率显著高于其他处理,而其余处理间的差异均不明显,30 d后,BT处理的净氨化速率均显著高于CK处理。

2.2.3 间作绿肥下土壤净硝化速率的变化

与土壤净氨化速率变化趋势相反,土壤的净硝化速率随着作物种植时间的延长而减小(图1-D)。但种植时间不超过30 d时,间作白三叶草的土壤净硝化速率均显著高于单作香蕉处理,当种植30 d时,间作草木樨的土壤净硝化速率有明显提高,显著高于其他处理;当种植至60 d后,所有处理组的土

壤净硝化速率都降低至负值,其中BR处理均显著高于单作香蕉处理。

2.2.4 间作绿肥下土壤净矿化速率的变化

由图1-E可知,间作绿肥对土壤净矿化速率的影响较大。与CK处理相比,BT处理的土壤净矿化速率在15 d时有所增加,而其余2个处理的速率均显著降低;在30 d时,间作草木樨和白三叶草均能显著提高土壤的净矿化速率;种植30 d后,间作绿肥的土壤净矿化速率均显著高于单作香蕉处理,其速率由高到低依次为:BT、BR、BM。

2.3 间作豆科绿肥对香蕉叶片酶活性的影响

2.3.1 间作绿肥下叶片硝酸还原酶活性的变化

由图2-A可知,间作白三叶草的叶片硝酸还原酶活性

在 15 d 时显著高于单作香蕉处理,增加了 28.14%,而 BR 和 BM 两个绿肥处理的活性明显低于 CK 处理,分别减少了 32.27%、54.90%;30 d 时,各处理的香蕉叶片硝酸还原酶活性差异显著,以 BM 处理的活性最高,较 15 d 时增加了 83.9%;移栽 30 d 后, BM 和 BT 处理的叶片硝酸还原酶活性均显著高于 BR 处理。

2.3.2 间作绿肥下叶片亚硝酸还原酶活性的变化 随着种植时间的增加, BM 处理的叶片亚硝酸还原酶活性在 30 d 时达到顶峰后开始逐渐降低,而其余处理的活性则呈现出逐渐下降的趋势(图 2-B)。当移栽 15 d 时,各个处理间的叶片亚硝酸还原酶活性虽差异明显,但只有 BT 处理的活性显著高于 CK 处理;到 30 d 时,只有 BM 处理的香蕉叶片亚硝酸还原酶活性显著高于 CK 处理,且活性比 15 d 时增加了 55.44%;当到 60 d 时, BM 处理的亚硝酸还原酶活性依旧最高,显著高于其他两个

绿肥处理,但与 CK 处理间并无明显差异,而到 90 d 时, BM 处理的活性显著高于 CK 处理。这说明了间作草木樨有利于提高亚硝酸还原酶的活性。

2.3.3 间作绿肥下叶片谷氨酰胺合成酶活性的变化 由图 2-C 可知,所有处理的叶片谷氨酰胺合成酶的活性均随着种植时间的增加而逐渐下降。当种植 15 d 时,间作绿肥处理的谷氨酰胺合成酶活性均显著低于单作香蕉处理,其中以 BT 处理的活性最低;但当移栽超过 15 d 时, BT 处理的谷氨酰胺合成酶活性均显著高于其他处理。

2.3.4 间作绿肥下叶片谷氨酸合成酶活性的变化 与谷氨酰胺合成酶活性的变化趋势相似,叶片谷氨酸合成酶的活性随着种植时间的延长而逐渐降低。与单作香蕉处理相比,间作绿肥处理的谷氨酸合成酶活性均有所降低,但差异较不明显;其中,各个处理间的活性在移栽 15、90 d 时,均没有显著差异,当移栽至 30、60 d 时,间作草木樨处理的谷氨酸

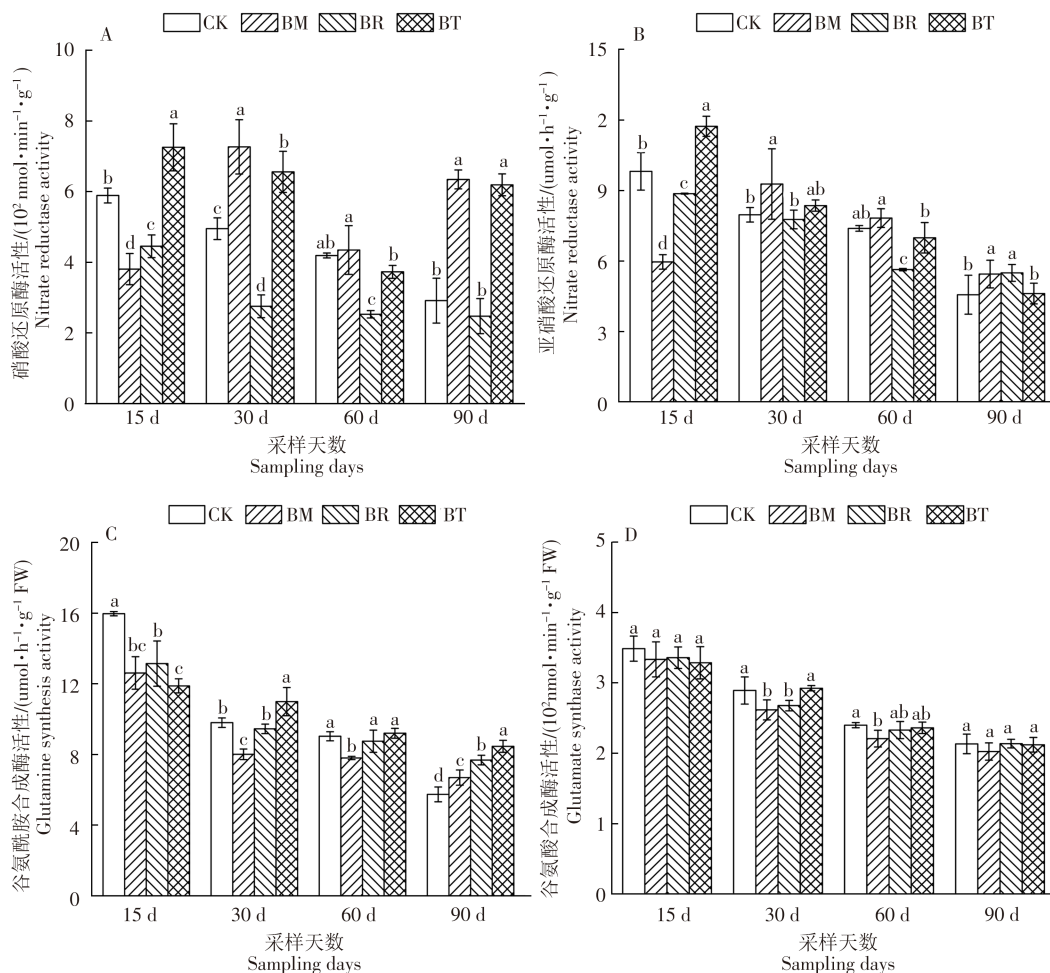


图 2 间作绿肥下香蕉叶片酶活性的变化

Fig. 2 Changes of enzyme activity in banana leaves under intercropping with green manure crops

合成酶活性均显著低于单作香蕉处理(图2-D)。

2.4 间作豆科绿肥下香蕉土壤氮素与叶片酶活性的相互关系 Pearson相关性系数的结果表明,土壤碱解氮、全氮与NR、NiR、GS、GOGAT指标间均无显著性相关,而土壤铵态氮、硝态氮与叶片酶活性间存在显著差异(图3)。其中土壤铵态氮与亚硝酸还原酶(NiR)、谷氨酰胺合成酶(GS)及谷氨酸合成酶(GOGAT)呈显著性正相关,相关性系数由高到低为GOGAT(0.94)>GS(0.92)>NiR(0.55),而土壤硝态氮则与NR、NiR、GS、GOGAT四种酶间均呈显著性正相关,且相关性系数由高到低为GOGAT(0.83)>NiR(0.78)>GS(0.65)>NR(0.50)。由此可见,土壤铵态、硝态氮与叶片酶活性间联系紧密。

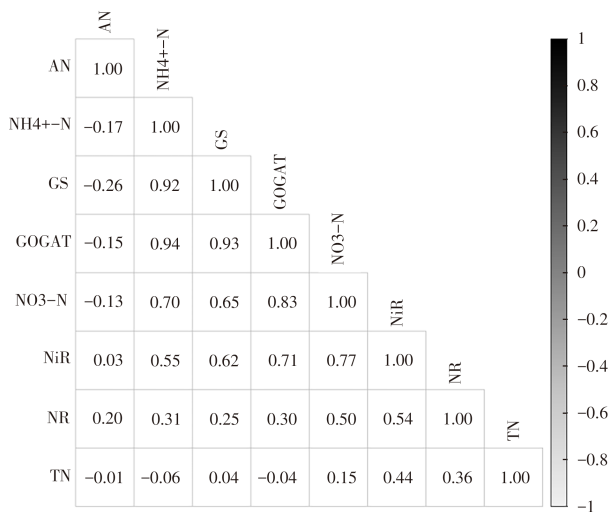


图3 间作豆科绿肥的香蕉土壤氮素与叶片酶活性的相关性

AN: 碱解氮; NH₄⁺-N: 铵态氮; NO₃⁻-N: 硝态氮; TN: 全氮; NR: 硝酸还原酶; NiR: 亚硝酸还原酶; GS: 谷氨酰胺合成酶; GOGAT: 谷氨酸合成酶。

Fig. 3 Correlation between soil nitrogen and leaf enzyme activity in banana intercropped with leguminous green manure crops

AN: available nitrogen; NH₄⁺-N: ammonium nitrogen; NO₃⁻-N: nitrate; TN: total nitrogen; NR: Nitrate reductase; NiR: Nitrite reductase; GS: Glutamine synthesis; GOGAT: Glutamate synthase.

3 讨论

3.1 间作豆科绿肥模式下对香蕉土壤养分、氮转化及叶片酶活性的影响 与单作模式相比,豆科与禾本科间作不仅能够促进豆科植物的固氮,也

能提高禾本科植物的氮肥利用效率,从而降低耕地中氮素的损失^[16-18]。本研究结果表明,与单作香蕉相比,间作豆科绿肥不仅能增加土壤养分,提高了土壤铵态氮和硝态氮含量,还显著改变了土壤的氮素转化,说明了香蕉间作豆科绿肥也具有改善土壤氮素供应的作用。同时,焦念元等^[19]的研究表明,间作的优势在一定程度上会随着施氮量的提高而降低,且方林发等^[20]研究发现,豆科绿肥替代化学氮肥后显著提高了柑橘对土壤氮素的吸收。笔者发现,间作绿肥的土壤净矿化速率在种植15 d时明显低于香蕉单作,在低氮水平下,间作却降低了土壤的氮转化速率,这很可能是因为绿肥在种植前期促进了香蕉对氮的吸收能力以及绿肥自身对土壤中氮素的吸收利用,从而导致土壤中的氮素快速下降,种植后期由于豆科根瘤的固氮作用增加了土壤中氮素的来源,进而又提高了土壤中的氮转化速率。

叶片硝酸还原酶(NR)、亚硝酸还原酶(NiR)、谷氨酰胺合成酶(GS)和谷氨酸(GOGAT)合成酶是参与植物氮代谢过程的关键酶,常被用作评价植物对氮素吸收和同化水平的重要指标^[21]。众多研究表明,间作模式下,尤其是与豆科绿肥间作,对作物的NR、NiR、GS和GOGAT的活性有显著的促进作用,能很好的调控植物的氮代谢过程^[22-23]。在本研究中,间作绿肥的香蕉叶片NR、NiR和GS的活性与单作香蕉相比有明显的提高,这与前人的研究一致,而对GOGAT的活性来说,间作绿肥不仅没有显著促进其活性的提高,反而在一定程度上有所下降,推测是作物类型不同和种植时间长短的影响,在本研究中,随着种植时间延长,各处理的土壤铵态氮、硝态氮、净硝化速率也随之降低,尤其是土壤的硝态氮含量和净硝化速率从60 d开始下降极为明显。

3.2 间作豆科绿肥模式下的土壤氮素与叶片酶活性间的相互关系 土壤养分与植物酶活性之间的关系密不可分,植物从土壤中所吸收的NO₃⁻经NR和NiR被还原为NH₄⁺后,在GS/GOGAT循环途径中转化为可被植物直接吸收利用的氮素化合物^[24]。在本研究中,土壤硝态氮含量与植物体内的NR活性呈显著性正相关,这与前人的研究结果一致^[25-26],可能是种植作物类型的不同,本研究中的土壤铵态氮和全氮含量与NR活性并无显著性相关关系。有

研究表明,施用氮素能够提高功能叶片的NiR、GS和GOGAT活性^[27],本研究的结果与其相似,土壤中的铵态氮、硝态氮含量与这3种酶间均存在显著性的正相关关系。由此可见,在植物的生长过程中,土壤氮素的供应与植物的酶活性之间存在着密切的关系,是影响植物氮代谢过程的重要一环。

本研究结果表明,香蕉与豆科绿肥间作能显著地增加土壤的pH值、有效磷及土壤速效钾的含量,同时在一定程度上也能提高土壤的有机质、碱解氮和全氮含量。间作草木樨、白三叶均能显著提高土壤中的铵态氮和硝态氮含量,同时也提高了土壤的氮硝化速率和矿化速率,促进了氮素转化过程。间作豆科绿肥对香蕉叶片的硝酸还原酶(NR)、亚硝酸还原酶(NiR)和谷氨酰胺合成酶(GS)活性具有明显的促进效果,且土壤铵态氮、硝态氮与NiR、GS、谷氨酸合成酶(GOGAT)间呈显著性的正相关。

参考文献:

- [1] 叶义全, 罗红艳, 李茂, 等. 氮素形态对杉木幼苗侧根生长和叶片光合特性的影响[J]. 西北植物学报, 2018, 38(11): 2036–2044.
- [2] ZHENG Y, SHEN P, SUN X, et al. Quantifying the role of peanut root and root nodule in nitrogen absorption and fixation under four forms of N fertilizers[J]. Journal of Agriculture and Food Research, 2022, 9: 100334.
- [3] 陈晨, 龚海青, 金梦灿, 等. 不同供氮形态下水稻苗期磷吸收累积与根系形态的关系[J]. 中国水稻科学, 2019, 33(2): 167–175.
- [4] 录亚丹, 郭丽琢, 李春春, 等. 干旱胁迫和氮素形态对豌豆根系生长的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(3): 19–25.
- [5] CUI H, LUO Y, LI C, et al. Effects of nitrogen forms on nitrogen utilization, yield, and quality of two wheat varieties with different gluten characteristics[J]. European Journal of Agronomy, 2023, 149: 126919.
- [6] 侯迷红, 李小明, 姚锦秋, 等. 不同氮素形态及其配比对叶类蔬菜生长和品质的影响[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2016, 31(2): 137–140.
- [7] 田亚男, 陈国栋, 吴潇, 等. 不同硝铵比对杜梨幼苗生长和生理特性的影响[J]. 中国南方果树, 2017, 46(2): 26–30.
- [8] LIMAMI A M, DIAB H, LOTHIER J. Nitrogen metabolism in plants under low oxygen stress[J]. Planta, 2014, 239(3): 531–541.
- [9] 宋同清, 王克林, 彭晚霞, 等. 亚热带丘陵茶园间作白三叶草的生态效应[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3647–3655.
- [10] 胡万金, 张凤才, 张妍. 间作草木樨对杨树林地土壤及林分生长的影响[J]. 辽宁林业科技, 2023(3): 38–39.
- [11] 宁诗琪, 蒋如, 李治模, 等. 三种绿肥对烤烟产质量及土壤养分和酶活性的影响[J/OL]. 中国土壤与肥料, (2023–08–29) [2024–01–08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5498.S.20230828.1557.002.html>.
- [12] CEN Z, ZHENG Y, GUO Y, et al. Nitrogen fertilization in a faba bean–wheat intercropping system can alleviate the autotoxic effects in faba bean[J]. Plants, 2023, 12(6): 1232.
- [13] DING T, YAN Z, ZHANG W, et al. Green manure crops affected soil chemical properties and fungal diversity and community of apple orchard in the Loess Plateau of China[J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2021, 21(2): 1089–1102.
- [14] ZOU C, DING L, ZHANG Y, et al. Intercropping effects of *Sophora davidii* and silage maize on soil physicochemical properties, enzyme activities and yield[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 769(3): 032032.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 中国农业出版社, 2000.
- [16] MANASA P, MAITRA S, REDDY M D. Effect of summer maize–legume intercropping system on growth, productivity and competitive ability of crops[J]. International Journal of Management, Technology and Engineering, 2018, 8(12): 2871–2875.
- [17] KHEROAR S, PATRA B C. Advantages of maize–legume intercropping systems[J]. Journal of Agricultural Science and Technology. B, 2013, 3(10B): 733.
- [18] 赵建华, 孙建好, 陈亮之, 等. 玉米与不同豆科作物间作对氮素的竞争与恢复效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(4): 640–650.
- [19] 焦念元, 宁堂原, 赵春, 等. 施氮量和玉米–花生间作模式对氮磷吸收与利用的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(4): 706–712.
- [20] 方林发, 谢军, 孔萌, 等. 豆科绿肥替代化学氮肥促进柑橘幼苗生长和氮素吸收[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(11): 1959–1970.
- [21] 陈雅君, 闫庆伟, 张璐, 等. 氮素与植物生长相关研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(4): 144–148.
- [22] LIU Z, ZHU Y A, DONG Y, et al. Interspecies interaction for nitrogen use efficiency via up-regulated glutamine and glutamate synthase under wheat–faba bean intercropping[J]. Field Crops Research, 2021, 274: 108324.
- [23] 唐秀梅, 钟瑞春, 揭红科, 等. 间作木薯对花生叶片碳氮代谢产物及关键酶活性的影响[J]. 西南农业学报, 2014, 27(6): 2316–2321.
- [24] 王新磊, 吕新芳. 氮代谢参与植物逆境抵抗的作用机理研究进展[J]. 广西植物, 2020, 40(4): 583–591.
- [25] 李伟华, 张崇邦, 林洁筠, 等. 外来入侵植物的氮代谢及其土壤氮特征[J]. 热带亚热带植物学报, 2008, 16(4): 321–327.

- [26] TOBIN A K, BOWSHER C G. Nitrogen and carbon metabolism in plastids: evolution, integration, and coordination with reactions in the cytosol[M]//Advances in Botanical Research. Amsterdam: Elsevier, 2005: 113–165.
- [27] 杜建彬. 不同氮素供给水平对紫丁香氮代谢生理的影响[J]. 辽宁林业科技, 2023(1): 17–20.

Effects of intercropping of banana with green manure crops on soil nitrogen transformation and banana leaf enzyme activity

LYU Rongting, LIU Xinyue, WU Qiaohui, GONG Wenkun, WANG Beibei

(School of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: An attempt was made to explore the changes of soil nitrogen transformation and nitrogen metabolism in banana plantations intercropped with leguminous green manure crops. A pot experiment was conducted to set up five treatments: monoculture of banana (CK), intercropping with *Trifolium repens* L (BT), intercropping with *Melilotus officinalis* (BM), intercropping with *Lolium perenne* L (BR). The changes of soil nutrient content and key enzymes for nitrogen metabolism in different sampling periods were determined. The results showed that the soil pH and the contents of organic matter, available nitrogen, total nitrogen, available phosphorus and available potassium in banana and intercrops, leguminous green manure crops, were increased in different degrees, and also increased were the soil contents of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$, and the net mineralization rate and the net nitrification rate of nitrogen in the soil. After intercropping with leguminous green manure crops, the activities of nitrate reductase (NR), nitrite reductase (NiR) and glutamine synthetase (GS) in banana leaves were significantly higher than those in the monoculture banana. The soil $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ were significantly positively correlated with the NiR, GS and glutamate synthetase (GOGAT) in the banana leaves.

Keywords: leguminous green manure; banana; intercropping; nitrogen transformation; enzyme activity

(责任编辑:潘学峰)