植物营养与肥料学报 2014,20(6):1468-1476
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2014.0617

不同肥料对油茶林土壤氮素含量、微生物群落及其功能的影响

王 华[1],牛德奎[1],胡冬南[2],张 炜[1],郭晓敏[2*]
(1 江西农业大学国土与资源环境学院,江西南昌 330045;2 江西农业大学园林与艺术学院,江西南昌 330045)

摘要:【目的】氮素的转化、吸收和利用是油茶生长和高产的关键要素。为了研究不同肥料对油茶林土壤氮素含量和相关微生物数量及其生物作用强度的影响,探讨不同肥料对土壤氮素养分循环及土壤微生物类群影响的内在联系,以期为油茶合理施肥提供理论依据和科学指导。**【方法】**以江西省九江市庐山区海会镇油茶基地赣无油茶无性系(*Camellia oleifera* Abel)为试验对象,设计油茶专用肥(ZYF)、生物有机肥(YJF)、复合肥(FHF)和不施肥(CK)4个处理,每个处理设3个重复样地。**【结果】**不同施肥处理油茶林土壤中全氮、硝态氮和铵态氮含量均存在显著差异,全氮年平均含量 ZYF > FHF > YJF > CK,不同处理土壤全氮含量季节变化均为春季至秋季呈递增趋势,秋季达到最大值。铵态氮年平均含量为 ZYF > YJF > FHF > CK,硝态氮年平均量为 ZYF > FHF > YJF > CK,不同处理铵态氮和硝态氮季节动态变化均不一致。不同施肥处理氨化细菌数量间和亚硝化细菌数量间均存在显著差异,氨化细菌与亚硝化细菌年平均量均为 YJF > ZYF > FHF > CK。氨化细菌数量秋季最高,冬季最低,但亚硝化细菌数量季节变化不明显。氨化作用强度与硝化作用强度年平均量均为 YJF > ZYF > FHF > CK。不同处理氨化作用强度均为从春季到秋季呈递增趋势,之后递减,冬季达最小。不同处理硝化作用强度季节动态变化较为复杂。不同施肥处理油茶林土壤中铵态氮含量与土壤氨化细菌数量、氨化作用强度显著相关($P<0.01$)。土壤硝态氮含量与土壤硝化细菌数量、硝化作用强度显著相关($P<0.01$)。FHF、YJF、ZYF 与 CK 相比,油茶单株平均产量分别增加了27.55%、76.10%、77.57%。**【结论】**施用复合肥、油茶专用肥和生物有机肥对提高土壤氮素含量、微生物群落数量及其生物作用强度以及油茶产量均有显著效果。尤其富含有机质和有益菌的生物有机肥和营养元素更全面的油茶专用肥的效果更佳。因此,在生产实践中应根据实际情况,因地制宜地在施用常规复合肥的同时,增加油茶专用肥和生物有机肥的应用。

关键词: 油茶;铵态氮;硝态氮;氨化细菌;亚硝化细菌;氨化作用;硝化作用
中图分类号: S794.4;S158.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2014)06-1468-09

Effects of different fertilization on soil nitrogen and microbial community and function in *Camellia oleifera* forest

WANG Hua[1], NIU De-kui[1], HU Dong-nan[2], ZHANG Wei[1], GUO Xiao-min[2*]
(*1 College of Land Resource and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China;*
2 College of Landscape Architecture and Art, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract:【Objectives】Transformation, absorption and utilization of nitrogen are key elements for the growth and high yield of *Camellia oleifera*. The effects of different fertilizer treatments on soil nitrogen content, number of microorganism and biological intensity in *Camellia oleifera* forest are studied, to reveal internal relationship between soil nutrient cycling and soil microbial communities, and to provide theoretical basis and scientific guidance for reasonable fertilization of *Camellia oleifera*. **【Methods】**Using 'Ganwu' clone of *Camellia oleifera* Abel grown in Haihui town, Lushan area of Jiujiang City, Jiangxi province as experimental material, this experiment was set to 4

收稿日期: 2013-10-11 **接受日期:** 2014-01-09
基金项目: 国家自然科学基金项目(31260194);国际植物营养研究所(IPNI)项目(Jiangxi-29);中央财政林业科技成果推广示范项目([2011]TK 056);江西农业大学自然科学创新发展基金课题(09004090)资助。
作者简介: 王华(1972—),女,江西鄱阳人,高级实验师,博士研究生,主要从事土壤微生物研究。E-mail: mengyiwanghua@sina.com
*通信作者 E-mail: gxmjxau@163.com

different fertilizer treatments, *Camellia* specialty fertilizer (ZYF), bio-organic fertilizer(YJF), compound fertilizer (FHF) and no fertilizer (CK), 3 replicates per treatment. 【**Results**】Under different fertilizer treatments, the contents of soil total nitrogen, ammonium and nitrate vary largely, and the annual average contents of soil total nitrogen are in order of ZYF > FHF > YJF > CK. For all the treatments, soil total nitrogen increases from spring to autumn with the maximum in autumn. The annual average contents of soil ammonium are in order of ZYF > YJF > FHF > CK, and those of soil nitrate are ZYF > FHF > YJF > CK. The seasonal variations of the contents of ammonium and nitrate are not consistent in different fertilizer treatments. Under different fertilizer treatments, the numbers of ammonifier and nitrite bacteria vary greatly, and the annual average numbers of ammonifier and nitrite bacteria are in order: YJF > ZYF > FHF > CK. The numbers of ammonifier have distinct and consistent changes in relation to seasonal variations, reaching the highest in autumn and the lowest in winter. The numbers of nitrite bacteria do not change obviously in relation to seasonal variations. The average annual levels of ammonification and nitrification intensities are in: YJF > ZYF > FHF > CK. The changes of ammonification intensity of all the treatments begin to increase from spring and reach the maximum in autumn, and then start to decline, while the changes of nitrification intensity are complicated in four seasons. The content of soil ammonium is significantly correlated with the number of ammonifer and ammonification intensity ($P<0.01$). There are significant correlations between the content of soil nitrate, the number of nitrite bacteria and nitrification intensity ($P<0.01$). Compared with CK, the average yields of per plant of *Camellia oleifera* are increased by 27.55%, 76.10% and 77.57% respectively under FHF, YJF and ZYF treatments. 【**Conclusions**】The application of *Camellia* specialty fertilizer (ZYF), bio-organic fertilizer (YJF), compound fertilizer (FHF) can improve soil nitrogen contents, microbial communities and their biological intensity and the yield of *Camellia oleifera*. Especially the bio-organic fertilizer with rich organic matter and beneficial bacteria and *Camellia* specialty fertilizer with comprehensive nutrients are better for *Camellia oleifera* Abel. Therefore, in the practice of production, we should apply the conventional compound fertilizer as well as the application of *Camellia* specialty fertilizer and bio-organic fertilizer according to actual situation and local conditions.

Key words: *Camellia oleifera* Abel; ammonium; nitrate; ammonifier; nitrite bacteria; ammonification; nitrification

油茶(*Camellia oleifera* Abel)又名油茶树,它是中国主要的木本食用油料,与棕榈、椰子和橄榄合称为世界四大木本油料植物[1]。油茶适应性广,抗干旱耐瘠薄,是我国南方各省区林业发展战略的重要树种。由于发展缺乏连贯性,我国大部分油茶林栽培管理水平低下,处于低产状态。施肥是改变油茶低产的重要措施,是争取油茶高产、优质、高效的必由之路[2-3]。因此,需要因地制宜,选择合适的肥料进行科学施肥,充分发挥肥效,提高养分利用率[4-5]。氮是植物生长和发育所需的大量营养元素之一,肥料中氮素的转化、吸收和利用是油茶生长和高产的关键要素。土壤氮库中的氮主要以有机氮的形式存在,而植物所能吸收利用的大部分是无机态氮,所以,土壤氮库中的有机氮必须不断地通过微生物的矿化作用转化为植物可吸收的有效态氮[6-7]。铵态氮、硝态氮作为可被植物直接吸收利用的有效态氮素,其含量的变化直接对土壤氮素的迁移转化过程和植物生产力产生影响。土壤中氮素含量按植被生长发育节律随物候期不断发生变化即季节性变化明显[8-9]。近些年,南方油茶产区在养分管理[10-13]以及油茶林土壤微生物及酶活性方面[14-16]开展了一些研究,但目前针对不同肥料处理油茶林土壤氮素状况与相关微生物方面的研究尚未见报道。本文旨在研究不同肥料类型对油茶林土壤中氮素含量、微生物群落及其功能的季节动态的影响,探讨它们之间的关联,以期为油茶的合理施肥提供理论依据和科学指导。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验地位于九江市庐山区海会镇,该地属亚热带东部季风区域,气候温和,雨量充沛,年均降水量为1437mm,年平均气温15～18℃,年平均日照时数1932 h,成土母质主要为花岗岩、片麻岩和石英

砂岩等,属第四纪红土经长期分化和耕种形成的黄红壤,土层深厚,试验地前茬种植茶树[17]。土壤pH 4.4、有机质含量11.07 g/kg、全氮0.89 g/kg、NH_4^+-N 28.48 mg/kg、NO_3^--N 11.75 mg/kg、有效磷1.95 mg/kg、速效钾为49.47 mg/kg,油茶树龄为8a,栽植密度为2500 plant/hm^2。

1.2 试验材料

试验材料赣无油茶无性系由江西林业科学研究院提供,本论文根据课题组多年油茶养分研究和林业生产实践的需要,选用与油茶生产实践紧密相连且目前最常用最典型的复合肥、油茶专用肥和生物有机肥。生物有机肥含有机质30%、腐殖酸20%、氮磷钾养分含量6%,N∶P_2O_5∶K_2O=1∶1∶1;油茶专用肥的氮磷钾养分含量为26.6%,N∶P_2O_5∶K_2O=1∶0.8∶1,并添加了硼砂、硫酸锌、生石灰等一些中微量元素;复合肥的氮磷钾养分含量为45%,N∶P_2O_5∶K_2O=1∶1∶1。

1.3 试验设计

根据研究与实践中油茶产量较佳的施肥量,选择生长较为一致的8年生油茶,试验设4个施肥处理:1)生物有机肥每年每株施2.0 kg(YJF);2)油茶无机专用肥每年每株施1.0 kg(ZYF);3)复合肥每年每株施0.6 kg(FHF);4)不施肥(CK)。每个样地每个处理20株,3个重复样地,随机区组排列。施肥采用沟施法(沿树冠滴水线挖环状沟施入),分两次施入(5月和11月初)。处理间设置保护行。从2009年起进行施肥处理。复合肥和油茶专用肥的氮、磷、钾总养分一致,生物有机肥中的氮、磷、钾总养分约为前二者的一半,但富含有机质和腐殖质等。

1.4 样品采集

在每个处理的每个样区离油茶主根50～60 cm,靠近施肥点但不重叠处采取5点取样法,采集0—20 cm土层土样,并将5个点的土壤混匀,过2 mm筛,一份自然风干用于土壤理化性质的测定,一份放入冰箱0～4℃保存,用于土壤微生物相关指标的测定。采样时间分别为2012年3月22日(春)、2012年6月28日(夏)、2012年9月27日(秋)、2013年1月12日(冬)。

1.5 测定项目与方法

土壤全氮采用半微量开氏法;铵态氮采用KCl浸提—蒸馏法;硝态氮采用KCl浸提—还原蒸馏法测定[18]。氨化细菌数和亚硝化细菌量采用稀释培养—最大或然数法测定;硝化作用强度用亚硝酸盐残留量法测定;氨化作用强度用土壤培养法测定[19]。

由于硝化作用是由两个阶段完成的,第一阶段是氨氧化为亚硝酸,由亚硝化细菌来完成,第二阶段是由亚硝酸氧化为硝酸,由硝化细菌完成。因为在土壤中硝化作用的第一阶段和第二阶段是连续进行的。所以测定参与第一阶段的亚硝酸细菌的数量,即能反映硝化细菌数量的多寡[19]。

试验数据用Excel软件进行整理和计算,SPSS 17.0软件作方差分析和相关性分析,LSD法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同肥料对土壤中氮素含量的影响

2.1.1 土壤全氮含量的季节变化 由表1可以看出,油茶林土壤中全氮含量在同一季节4个施肥处理间均存在显著差异,FHF、ZYF、YJF与CK相比全氮含量的年平均值分别增加19.57%、17.46%、9.79%;3种肥料对提高油茶林土壤全氮含量均有显著效果,尤其是复合肥和油茶专用肥。

不同施肥条件下季节变化对土壤全氮含量的影响表现为从春季到秋季递增,在秋季达到最大值后下降。在春、夏、秋、冬4个季节中,FHF与ZYF处理油茶林的土壤全氮含量差异不显著,但CK处理的季节差异显著。YJF、FHF和ZYF处理在秋季其土壤全氮含量显著高于其他季节,而其他季节间无明显差异。

2.1.2 土壤铵态氮含量的季节变化 表2显示,在相同季节油茶林土壤中铵态氮含量除了秋季ZYF与YJF差异不显著外,其它季节处理间均存在显著差异。ZYF、FHF、YJF与CK相比,铵态氮年平均含量依次增加304.12%、214.48%、151.39%。可见,3种肥料均能大幅度提高油茶林土壤铵态氮含量,其中油茶专用肥的效果最佳。

不同处理油茶林土壤铵态氮含量的季节变化规律不一致,FHF和ZYF处理的土壤铵态氮含量季节变化明显,变化范围为10.82～28.56 mg/kg和18.05～26.49 mg/kg。FHF处理从春季到夏季呈递增趋势,夏季达到最大值,然后递减,在冬季含量最小。ZYF处理呈现“N”型变化,春、夏两季含量高,秋季最低,冬季有回升现象。而CK和YJF处理土壤铵态氮含量季节变化不大,变化范围分别为5.05～6.43 mg/kg、13.52～15.57 mg/kg。

表 1　不同肥料处理土壤全氮含量季节变化 (g/kg)

Table 1　Seasonal variations of soil total nitrogen under different fertilizer treatments

施肥处理 Fertilizer treatment	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
YJF	0.95 Ba	0.96 Bab	1.04 Ab	0.97 ABab
ZYF	0.98 Ba	1.01 Ba	1.17 Aa	1.03 Ba
FHF	1.01 Ba	1.04 Ba	1.17 Aa	1.05 Ba
CK	0.84 Db	0.89 Cbc	0.93 Ac	0.91 BCb

注(Note): 同行数据后不同大写字母表示同一施肥处理不同季节间差异达 5% 显著水平 Values followed by different capital letters in same row mean significant under the same fertilizer in different seasons at the 5% level; 同列数据后不同小写字母表示同一季节不同施肥处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different small letters in same column mean significant among different fertilizers in the same season at the 5% level.

表 2　不同肥料处理土壤铵态氮含量季节变化 (mg/kg)

Table 2　Seasonal variations of soil ammonium under different fertilizer treatments

施肥处理 Fertilizer treatment	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
YJF	14.91 Ab	15.57 Ac	11.26 Cb	13.52 Bb
ZYF	26.49 Aa	25.87 Aa	11.01 Cb	24.82 Ba
FHF	14.01 Bc	16.76 Ab	12.35 Ca	8.82 Dc
CK	6.03 Ad	6.43 Ad	6.04 Ac	5.05 Bd

注(Note): 同行数据后不同大写字母表示同一施肥处理不同季节间差异达 5% 显著水平 Values followed by different capital letters in same row mean significant under the same fertilizer in different seasons at the 5% level; 同列数据后不同小写字母表示同一季节不同施肥处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different small letters in same column mean significant among different fertilizers in the same season at the 5% level.

2.1.3 土壤硝态氮含量的季节变化　硝态氮含量在同一季节除春季的 FHF 和 YJF 之间无显著差异外,其他季节处理间均存在显著差异(表 3)。硝态氮含量的变化基本趋势为 FHF > ZYF > YJF > CK。FHF、ZYF、YJF 与 CK 对相比,硝态氮年平均含量分别增加 84.75%、73.74%、48.70%。复合肥与油茶专用肥对油茶林土壤中硝态氮含量提高的效果较佳。

土壤硝态氮含量不同处理的季节变化均显著,相同处理不同季节间均存在显著差异,但不同处理的季节变化的趋势并不一致。YJF、FHF、ZYF 处理从春季到夏季呈递减趋势,并在夏季达到最小值,在夏季到冬季则呈递增趋势。CK 处理从春季到秋季呈递增趋势,之后减小,冬季达到最小值。

表 3　不同肥料处理土壤硝态氮含量季节变化 (mg/kg)

Table 3　Seasonal variations of soil nitrate under different fertilizer treatments

施肥处理 Fertilizer treatment	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
YJF	10.81 Bb	8.07 Dc	12.03 Ac	9.55 Cc
ZYF	15.83 Aa	9.48 Db	12.70 Cb	13.72 Bb
FHF	11.25 Cb	10.31 Da	13.19 Ba	15.52 Aa
CK	5.72 Cc	6.66 Bd	9.85 Ad	4.97 Dd

注(Note): 同行数据后不同大写字母表示同一施肥处理不同季节间差异达 5% 显著水平 Values followed by different capital letters in same row mean significant under the same fertilizer in different seasons at the 5% level; 同列数据后不同小写字母表示同一季节不同施肥处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different small letters in same column mean significant among different fertilizers in the same season at the 5% level.

2.2 不同肥料对氮素转化主要功能菌的影响

土壤氮素的矿化作用是林地生态系统氮素循环中重要的过程之一,主要包括氨化作用和硝化作用。土壤氨化细菌和硝化细菌是参与上述过程的主要菌群。

2.2.1 土壤氨化细菌数量的季节变化 由图1可知,除秋季FHF和ZYF处理之间土壤氨化细菌的数量无显著差异外,在相同季节不同处理之间均存在显著差异。且氨化细菌的变化趋势均为YJF > ZYF > FHF > CK。YJF、ZYF、FHF与CK对比,氨化细菌年平均量依次增加79.51%、58.39%、38.33%。生物有机肥对增加土壤氨化细菌数量的效果最好。

不同处理土壤氨化细菌数量的季节变化明显,相同处理不同季节间均存在显著差异。各处理在不同季节的变化趋势一致,从春季到秋季呈递增趋势,在秋季达最大值,之后递减,在冬季达最小值。

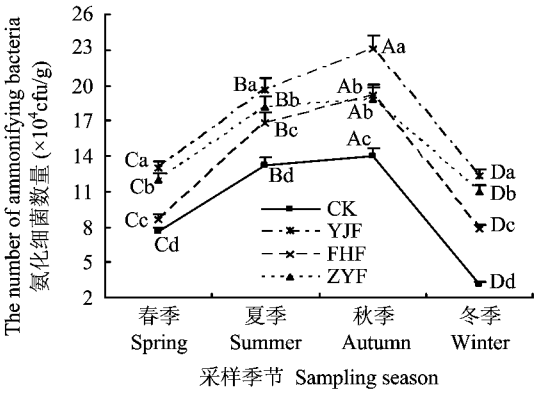

图1 不同肥料处理氨化细菌数量季节变化

Fig. 1 Seasonal variations of ammonifying bacteria under different fertilizer treatments

[注(Note):图中大写字母表示同一施肥处理不同季节间差异显著 Capital letters mean significant under the same fertilizer in different seasons at the 5% level;小写字母表示同一季节不同施肥处理间差异显著 Lowercase letters mean significant among different fertilizers in the same season at the 5% level.]

2.2.2 土壤亚硝化细菌数量的季节变化 亚硝化细菌是氮转化过程中的另一类功能菌群。图2显示,在相同季节不同处理之间亚硝化细菌数量存在显著差异,且均为YJF > ZYF > FHF > CK。YJF、ZYF、FHF与CK相比,亚硝化细菌年平均量分别增加643.60%、531.54%、478.10%。由此可见,3种肥料处理的亚硝化细菌的数量均大幅度增加。

亚硝化细菌数量的季节性变化不明显。除CK在各季节之间存在显著差异外,其他3种施肥处理

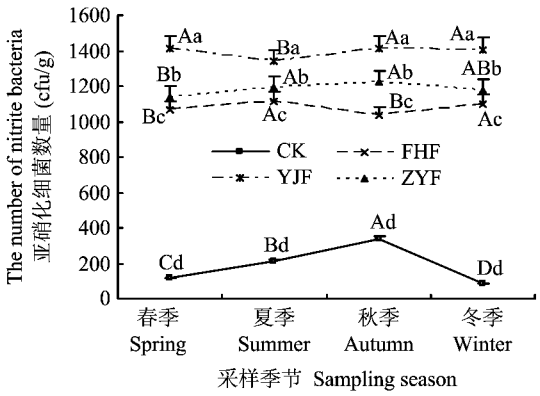

图2 不同肥料处理亚硝化细菌数量季节变化

Fig. 2 Seasonal variations of nitrite bacteria under different fertilizer treatments

[注(Note):图中大写字母表示同一施肥处理不同季节间差异显著 Capital letters mean significant under the same fertilizer in different seasons at the 5% level;小写字母表示同一季节不同施肥处理间差异显著 Lowercase letters mean significant among different fertilizers in the same season at the 5% level.]

亚硝化细菌的季节差异不明显。不同处理的季节变化趋势也不一致。ZYF、FHF、YJF以及CK处理的亚硝化细菌数量总体变化范围依次为1.14×10^3 ~ 1.22×10^3 cfu/g、1.03×10^3 ~ 1.11×10^3 cfu/g、1.34×10^3 ~ 1.42×10^3 cfu/g、0.84×10^2 ~ 3.40×10^2 cfu/g。

2.3 不同肥料对土壤氮素转化功能的影响

2.3.1 对土壤氨化作用强度的影响 不同肥料处理对土壤氨化作用强度除秋季FHF处理和ZYF处理之间无显著差异外,在同一季节不同处理之间均存在显著差异(图3)。氨化作用强度均表现为YJF > ZYF > FHF > CK。与CK相比,YJF、ZYF、FHF处理的氨化作用强度年平均量分别增加72.41%、44.72%、33.32%。由此可知,3种肥料处理均能显著增强土壤的氨化作用强度,其中以生物有机肥的效果最为明显。

不同处理的土壤氨化作用强度季节变化显著,除了ZYF处理的春季和冬季之间差异不显著外,其他均存在显著差异。不同处理在4个季节的变化趋势一致,从春季到秋季递增,在秋季达最大值,之后递减,在冬季达最小值。

2.3.2 对土壤硝化作用强度的影响 在相同季节不同处理之间硝化作用强度存在显著差异(图4),均为YJF > ZYF > FHF > CK。YJF、ZYF、FHF处理的硝化作用强度的年平均量分别比CK增加222.06%、159.16%、114.37%。说明3种肥料对

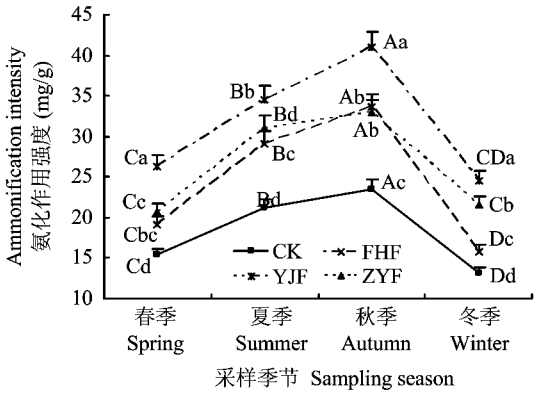

图 3　不同肥料处理氨化作用强度季节变化

Fig. 3　Seasonal variations of ammonification intensity under different fertilizer treatments

[注(Note): 图中大写字母表示同一施肥处理不同季节间差异显著 Capital letters mean significant under the same fertilizer in different seasons at the 5% level; 小写字母表示同一季节不同施肥处理间差异显著 Lowercase letters mean significant among different fertilizers in the same season at the 5% level.]

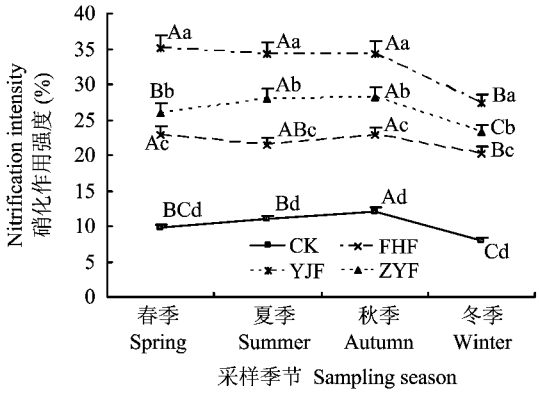

图 4　不同肥料处理硝化作用强度季节变化

Fig. 4　Seasonal variations of nitrification intensity under different fertilizer treatments

[注(Note): 图中大写字母表示同一施肥处理不同季节间差异显著 Capital letters mean significant under the same fertilizer in different seasons at the 5% level; 小写字母表示同一季节不同施肥处理间差异显著 Lowercase letters mean significant among different fertilizers in the same season at the 5% level.]

提高硝化作用强度的效果显著。

4 个处理的土壤硝化作用强度的季节变化规律不一致。CK 各季节之间存在差异,春、夏、秋呈递增趋势,冬季降到最低。YJF 处理的硝化作用强度春、夏、秋之间无明显差异,但均显著大于冬季。FHF 处理春季与秋季的硝化作用较强且两者间无显著差异,夏季次之,冬季最弱,季节之间存在显著差异。ZYF 在秋季和夏季的硝化作用较强,两个季节间差异不显著,而春季水平较低,在冬季达最小值,差异显著。

2.4　土壤氮素转化功能细菌、生化强度与土壤氮素变化的关系

2.4.1 氨化细菌数量、氨化作用强度以及铵态氮含量之间相关性分析　由表 4 可以看出,土壤铵态氮与氨化细菌、氨化作用强度的相关性极显著。表明土壤铵态氮的含量受氨化细菌数量及其氨化作用强度的影响显著。尤其是氨化作用强度与氨化细菌数量的相关系数高达 0.973,充分说明氨化作用强度与氨化细菌数量存在极显著的相关性。

表 4　氨化细菌、氨化作用及铵态氮相关性

Table 4　Correlations between ammonifying bacteria, ammonification and ammonium

项目 Item	铵态氮 Ammonium	氨化细菌 Ammonifying bacteria	氨化作用 Ammonification
铵态氮 Ammonium	1	0.467**	0.448**
氨化细菌 Ammonifying bacteria	0.467**	1	0.973**
氨化作用 Ammonification	0.448**	0.973**	1

注(Note): ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关 Means significant correlation at the 0.01 level (bilateral).

2.4.2 硝化细菌数量、硝化作用强度以及硝态氮含量之间相关性分析　表 5 表明,土壤硝态氮与硝化细菌、硝化作用强度的相关性达 0.01 显著水平。氨化作用与硝化作用是土壤氮素矿化的主要生物过程,其强度与氨化细菌和硝化细菌的数量有密切关系。因此,可以通过施肥等措施提高有关功能菌的数量,加强其生化作用强度,从而提高土壤中铵态氮和硝态氮的含量。

2.5　不同肥料对油茶产量的影响

在 2012 年 10 月 21 日,将不同施肥处理的油茶

树分别单株采果称重,然后求平均值。图5显示,CK处理的单株平均产量为1735.75 g,FHF处理为2214.00 g,YJF为3056.73g,ZYF为3082.13g。FHF、YJF、ZYF与CK相比,油茶单株平均产量分别增加了27.55%、76.10%、77.57%。可见,施3种肥料均能提高油茶产量,尤其是油茶专用肥和生物有机肥的增产效果显著。

表5 硝化细菌、硝化作用及硝态氮相关性

Table 5 Correlations between nitrite bacteria, nitrification and nitrate

项目 Item	硝态氮 Nitrate	硝化细菌 Nitrite bacteria	硝化作用 Nitrification
硝态氮 Nitrate	1	0.629**	0.465**
硝化细菌 Nitrite bacteria	0.629**	1	0.939**
硝化作用 Nitrification	0.465**	0.939**	1

注(Note):** 表示在0.01水平(双侧)上显著相关 Means significant correlation at the 0.01 level (bilateral).

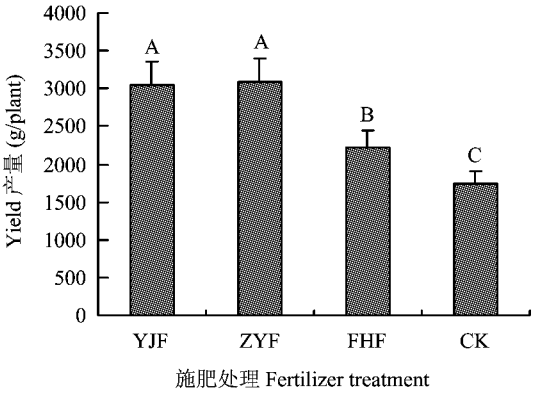

图5 不同肥料处理单株油茶鲜果均产量

Fig. 5 Average fruit yields of different strains of *Camelia oleifera* under different fertilizer treatments

[注(Note):柱上不同字母表示处理间差异达5% Different letters above the bars mean significant among treatments at the 5% level.]

3 讨论与结论

近年来农林业生产中为了追求高产,常配施高量的氮肥,导致单位播种面积施氮量迅速上升,但氮的利用率一直不高,因而造成肥料的浪费和加重农林业面源污染,研究不同施肥条件下油茶林土壤氮素含量状况和相关微生物群落及其功能,可进一步了解不同肥料对土壤氮素养分循环及土壤微生物类群影响的内在联系,为合理施肥,提高肥料利用率和减少面源污染提供理论依据。

3.1 不同肥料对油茶林土壤氮素养分的影响

本研究结果表明,油茶专用肥、复合肥和生物有机肥对提高油茶林土壤全氮、铵态氮及硝态氮含量效果显著,油茶专用肥和复合肥效果较佳。不同肥料处理对油茶林土壤硝态氮含量的增加明显,但与土壤铵态氮相比增加幅度较小,这与硝态氮是土壤氮素转化、迁移过程中最活跃的氮素形态而难以被土壤颗粒吸附有关。本研究结果显示,不同肥料处理油茶林土壤全氮含量的季节变化均表现为春季至秋季递增,秋季达到最大值。全氮含量的季节变化特征不仅受施肥等措施的影响,而且与不同时期的植物吸收作用、水分条件、植物根际分泌物以及地表枯落物的分解以及有机氮的矿化平衡有关,并受铵态氮、硝态氮和有机氮含量变化相叠加的结果的影响[20]。另外也有报道认为温度的高低、土壤结构的好坏,土壤中输入有机物的多少及其消耗的快慢是出现季节变化的主要原因[21]。因此,所有处理中土壤全氮含量均在秋季最高,可能与秋季地表枯落物的积累以及在此季节水分和气候等条件下微生物对枯落物分解将氮素等营养物质大量归还表层土壤有关,而且油茶此时生长消耗也逐渐减少。本研究显示,不同肥料处理油茶林土壤铵态氮和硝态氮含量的季节变化比较复杂,其季节变化不完全一致。4个处理铵态氮含量在秋季均下降,因为在夏季到秋季,是油茶果实迅速增长的时期,油茶根系大量吸收土壤中的有效养分以满足其生长需要,从而使秋季的土壤铵态氮含量下降。硝态氮含量在夏季偏低,可能是因为在夏季雨水较多,造成硝态氮淋溶流失较多,使得夏季的硝态氮含量整体偏低。

3.2 不同肥料对油茶林土壤中氮素循环相关微生物群落的影响

本研究结果表明,3种肥料处理对提高油茶林土壤氨化细菌数量、亚硝化细菌数量以及氨化作用强度和硝化作用强度的效果显著,其中生物有机肥

的效果最好,其次是油茶专用肥。由于生物有机肥中含有大量的有机质和腐植酸,可为土壤生物创造良好的微生态环境,从而有效增加微生物群落。施用生物有机肥不但增加了土壤养分,同时也为微生物提供了充足的碳源,有利于微生物的生长。油茶专用肥是根据对土壤养分含量特点的分析和油茶的需肥规律,结合当地的习惯施肥水平,自然气候条件,因地制宜而研制的。除了含氮、磷、钾养分外,还根据当地土壤缺素状况添加了 Ca、Mg、B 等中、微量元素。由于土壤中的养分元素是多样的,不同土壤中养分丰缺程度也各不相同,土壤肥力水平对微生物的影响非常复杂。土壤微生物的生命活动不仅需要能源,也需要生命元素,因此土壤养分限制因子及其水平均会对微生物的生命活动产生影响。因此,油茶专用肥配方养分比较全面均衡,也有利于微生物菌落的生长繁殖。本试验的所有处理中氨化细菌数量的季节变化均在秋季达到最高,与秋季油茶林地上部分杂草枯萎,以及果实采摘前的除草,使得死亡植株覆盖在土壤表层,增加了土壤有机质含量,提高了土壤微生物的数量有关。硝化细菌受温度、湿度、土壤理化性质等的环境因子的影响,导致亚硝化细菌数量季节变化趋势复杂。土壤低的 pH 值对亚硝化细菌的生长具有抑制作用,本试验样地土壤的 pH 偏低,使得亚硝化细菌数量整体偏低,可能由此导致季节动态变化不明显。土壤氨化和硝化作用强度受季节变化影响的因素是多方面的,与功能菌数量、土壤有机质含量、温度和湿度等因素有关。氨化作用强度从春季到秋季呈递增趋势,可能是土壤温度上升,湿度增大,有机质含量增加,从而有效地促进氮矿化作用。冬季作用强度最低,与冬季温度低,土壤微生物活性大大降低有关。不同处理硝化作用强度的季节变化趋势不一致,总体也是冬季偏低,同样与冬季温度低,土壤微生物活性下降有关。本研究结果显示,不同肥料处理油茶林土壤氮素含量与相关微生物数量及其生物作用强度存在极显著相关性。因此可通施用适宜的肥料类型来增加油茶林土壤中相关功能菌数量,加强其生化作用强度,提高土壤中铵态氮和硝态氮的含量,从而促进油茶生长和高产。研究结果同时表明,施用 3 种类型的肥料均增加了油茶产量,其中油茶专用肥和生物有机肥可提高油茶产量近 80%。

综上所述,施用复合肥、油茶专用肥和生物有机肥对提高土壤氮素含量、微生物群落数量及其生物作用强度以及油茶产量均有显著效果。尤其富含有机质和有益菌的生物有机肥和营养元素更全面的油茶专用肥的效果更佳。因此,在生产实践中应根据实际情况,因地制宜地在施用常规的复合肥的同时,增加油茶专用肥和生物有机肥的应用,在改良土壤和提高土壤肥力的同时实现肥料的高效利用,生态环境的保护以及油茶的稳产、高产。

参 考 文 献:

[1] 杨曾辉, 杨文英. 我国油茶产业发展面临的问题及对策[J]. 作物研究, 2011, 25(2): 103-104.
Yang Z H, Yang W Y. Problems and countermeasures of the development of Chinese tea industry[J]. Crop Research, 2011, 25(2): 103-104.

[2] 钟剑飞, 郭晓敏, 刘苑秋, 等. 油茶平衡施肥经济效益研究[J]. 林业实用技术, 2009, (9): 3-6.
Zhong J F, Guo X M, Liu Y Q *et al*. Effect of balanced fertilization on economic benefit of camellia oleifera[J]. Practical Forestry Technology, 2009, (9): 3-6.

[3] 陈隆升, 陈永忠, 马力. 油茶配方施肥技术研究进展[J]. 林业科技开发, 2011, 25(1): 6-10.
Chen L S, Chen Y Z, Ma L. Research progress of formulated fertilization techniques of camellia oleifera[J]. China Forestry Science and Technology, 2011, 25(1): 6-10.

[4] 樊小林, 廖宗文. 控释肥料与平衡施肥和提高肥料利用率[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(3): 219-223.
Fan X L, Liao Z W. Increasing fertilizer use efficiency by means of controlled release fertilizer production according to theory and techniques of balanced fertilization[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(3): 219-223.

[5] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924.
Zhang F S, Wang J Q, Zhang W F *et al*. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement.[J]. Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(5): 915-924.

[6] 杨晶秋, 郑普山, 韩迎高. 有机无机复合肥料中氮缓释剂的选择和使用[J]. 山西农业科学, 2002, 30(2): 40-42.
Yang J Q, Zheng P S, Han Y G. The selection and use of nitrogen reduced-releasing agent in inorganic and organic compound fertilizer[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2002, 30(2): 40-42.

[7] 李建民, 李世娟, 曾长立, 等. 冬小麦限水灌溉条件下土壤硝态氮变化与氮素平衡[J]. 华北农学报, 2003, 18(2): 51-55.
Li J M, Li S J, Zeng C L *et al*. Studies on the soil nitrate content and nitrogen balance in winter wheat plants under limited irrigation condition[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2003, 18(2): 51-55.

[8] 莫江明, 彭少麟, 方运霆, 等. 鼎湖山马尾松阔叶混交林土壤有效氮动态研究[J]. 生态学报, 2001, 21(3): 492-497.
Mo J M, Peng S L, Fang Y T *et al*. A preliminary study on the dynamics of bio-available nitrogen in soils of pine-broadleaf mixed

forest in Dinghushan Biosphere Reserve [J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21 (3): 492-497.

[9] 孟盈, 薛敬意, 沙丽清, 等. 西双版纳不同热带森林下土壤铵态氮和硝态氮动态研究[J]. 植物生态学报, 2001, 25(1): 99-104.
Meng Y, Xue J Y, Sha L Q *et al*. Variations of soil NH_4^+-N, NO_3^--N and N mineralization under different forests in Xishuangbanna, southwest China[J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2001, 25(1): 99-104.

[10] 胡冬南, 游美红, 袁生贵, 等. 不同配方施肥对幼龄油茶的影响[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(1): 94-97.
Hu D N, You M H, Yuan S G *et al*. The effect on young camellia oleifera of different form fornula fertilization[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2005, 20(1): 94-97.

[11] 赵中华, 郭晓敏, 李发凯, 等. 不同施肥处理对油茶光合生理特性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2007, 29(4): 576-581.
Zhao Z H, Guo X M, Li F K *et al*. Effects of different fertilizing treatments on the photosysthetic-physiological characters in oil-tea [J]. Acta Agriculturae Universitatia Jiangxiensis, 2007, 29 (4): 576-581.

[12] 胡玉玲, 胡冬南, 郭晓敏, 等. 施肥对赣无系列油茶叶片SPAD值及养分的影响[J]. 林业科技开发, 2011, 25(2): 20-23.
Hu Y L, Hu D N, Guo X M *et al*. Effects of four fertilizers on chlorophyll SPAD values, nutrients and dry matter accumulation in leaves of Jiangxi clone camellia[J]. China Forestry Science and Technology, 2011, 25(2): 20-23.

[13] 周裕新, 郭晓敏, 鲁顺保, 等. 水、肥和芸苔素内酯对油茶叶片养分、种仁出油率和开花量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 387-395.
Zhou Y X, Guo X M, Lu S B *et al*. Effect of water, nutrient and BRs on number of blossom, leaf nutrition and seed oil content of camellia oleifera [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2013, 19(2): 387-395.

[14] 周国英, 陈小艳, 李倩茹, 等. 油茶林地土壤微生物生态分布及土壤酶活性的研究[J]. 经济林研究, 2001, 19(1): 9-12.
Zhou G Y, Chen X Y, Li Q R *et al*. Ecological distribution of soil microorganisms and activity of soil enzymes in oiltea camellia stands[J]. Economic Forest Researches, 2001, 19(1): 9-12.

[15] 郝艳, 刘君昂, 周国英, 等. 不同抚育措施对油茶林土壤养分、微生物及酶活性的影响[J]. 林业资源管理, 2008, (6): 97-101.
Hao Y, Liu J A, Zhou G Y *et al*. Effects of different culture measures on the soil nutrient, microorganism and enzymatic activity in oiltea camellia stands [J]. Forest Resources Management, 2008, (6): 97-101.

[16] 郭春兰, 张露, 雷蕾, 等. 不同林龄油茶林土壤酶活性及养分特征[J]. 草业科学, 2012, 29(11): 1647-1654.
Guo C L, Zhang L, Lei L *et al*. Soil enzyme activity and nutrient characteristics of camellia oleifera forest at different plantation ages[J]. Pratacultural Science, 2012, 29(11): 1647-1654.

[17] 周裕新, 胡玉玲, 甘青, 等. 施肥与芸苔素内酯对赣无油茶叶片养分和生长的影响[J]. 西南林业大学学报, 2012, 32 (2): 1-6.
Zhou Y X, Hu Y L, Gan Q *et al*. Effect of fertilization and BRs application on leaf nutrition and plant growth of 'Ganwu' clone of camellia oleifera[J]. Journal of Southwest Forestry University, 2012, 32(2): 1-6.

[18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Bao S D. Soil and agro-chemistry analysis[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000.

[19] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
Lin X G. Principles and methods of soil microbiology research [M]. Beijing: Higher Education Press, 2010.

[20] 孙志高, 刘景双, 于君宝. 三江平原小叶章湿地土壤中碱解氮和全氮含量的季节变化特征[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(8): 145-149.
Sun Z G, Liu J S, Yu J B. Seasonal change characteristics of alkaline hydrolysis nitrogen and total nitrogen in typical Calamagrostis angustifolia wetland soils of Sanjiang Plain [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 23(8): 145-149.

[21] 汪小兰, 蒋先军, 曹良元, 谢德体. 季节变化对不同形态氮素在土壤团聚体中分布的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2013, 35(3): 133-139.
Wang X L, Jiang X J, Cao L Y, Xie D T. The impact of seasonal variations on the distribution of different nitrogen forms in soil aggregates[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2013, 35(3): 133-139.