植物营养与肥料学报 2013,19(1):214-222
Plant Nutrition and Fertilizer Science doi: 10.11674/zwyf.2013.0126

不同有机肥处理对黄冠梨生长及果园土壤性状的影响

谢 凯, 宋晓晖, 董彩霞*, 徐阳春
(南京农业大学资源与环境科学学院,江苏南京 210095)

摘要: 为探明不同有机肥对梨树生长和果园土壤生物性状的影响,通过田间小区试验研究了不施肥处理(CK)、传统施肥(TF)、生物有机肥(BOF)、鸡粪堆肥(CM)及有机无机复混肥(CF)对黄冠梨树地上部生长、产量和品质、土壤微生物量碳氮和矿质态氮含量动态变化的影响。结果表明,(1)各处理均增加了叶面积、百叶重及新梢长度,果实可溶性固形物、可溶性糖含量和糖酸比也有不同程度提高,其中 BOF 处理效果最好,与 CK 相比 BOF 处理单果重和产量分别增加了 17.4% 和 33.9%;(2)与 CK 和 TF 相比,其它有机肥处理在整个生育期均增加了土壤微生物数量及微生物量碳氮含量,且两者呈先增加后下降趋势;(3)梨园土壤中的矿质态氮以硝态氮为主,从萌芽期至二次膨大期各施肥处理矿质态氮含量逐渐下降,降幅为 78.9%~88.7%,成熟期 BOF 处理的土壤矿质态氮含量高于其它处理。可见,施用有机肥可以促进树体生长,提高土壤微生物数量,改善土壤供氮特性。

关键词: 黄冠梨; 有机肥; 土壤; 微生物; 果实品质
中图分类号: S661.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2013)01-0214-09

Effects of different organic fertilizers on tree growth and soil property in Huangguan pear orchard

XIE Kai, SONG Xiao-hui, DONG Cai-xia*, XU Yang-chun
(*College Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*)

Abstract: In order to investigate the effects of different organic fertilizers on pear tree growth and soil biological property, a field plot experiment was carried out to study the effects of different fertilizer managements on the aboveground growth, yield, quality of pear and changes of soil microbial biomass carbon and nitrogen and mineral nitrogen in Huangguan pear orchards. There were five fertilizer treatments, no fertilization (CK), traditional fertilizer (TF), bio-organic fertilizer (BOF), chicken manure compost (CM) and organic-inorganic compound fertilizer (CF). The results show that the applications of organic fertilizer enhance the leaf area, weight of 100 leaves and length of new shoots. Meanwhile, the contents of fruit soluble solid and soluble sugar and ratio of total sugar to organic acids are also improved, especially in the treatment of BOF. The fruit weights and yields in the treatment of BOF are increased by 17.4% and 33.9%, respectively compared with the CK. Different organic fertilizer treatments could improve the soil microbial quantity and contents of soil microbial biomass carbon (SMBC) and soil microbial biomass nitrogen (SMBN) in the whole growth period compared with the CK and CF. The mineral nitrogen is mainly made up of nitrate and it decreases gradually from the germination stage to the second expanding stage in different fertilizer treatments. At the maturity the content of nitrate in the treatment of BOF is significantly higher than those of the other treatments. In summary, the application of organic fertilizer could promote tree growth, improve soil microbial quantity and ameliorate soil nitrogen supply.

Key words: Huangguan pear; organic fertilizer; soil; microorganism; fruit quality

收稿日期: 2012-4-18 **接受日期:** 2012-08-06
基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-29-15)资助。
作者简介: 谢凯(1987—),男,江苏泰兴人,硕士研究生,主要从事梨树矿质营养研究。Tel: 0512-67161705, E-mail: xiekai007007@163.com
*通信作者 Tel: 025-84396393, E-mail: cxdong@njau.edu.cn

梨是我国继苹果和柑橘之后的第三大栽培果树。2010 年我国梨栽培面积为 106.3 万公顷,产量为 1505.7 万吨。肥料是梨生产中最重要的物质基础之一,合理施肥不仅关系到梨果产量的提高和品质的改善,而且影响果园土壤肥力和经济效益。近年来,大部分果农盲目追求高产,过量投入化肥,带来了诸多如梨园土壤酸化、有机质偏低、养分失衡、果品生理病害严重等问题[1-2]。安婷婷等[3]研究发现施用有机肥可以改善土壤理化性质,提高生物活性[4],从而缓解因化肥施用不当造成的负面效应。但有机肥因其养分含量低,在提高产量方面效果不明显[5]。国外也有研究[6-7]发现,施用堆肥等有机肥对山莓和番茄的产量提高不如化肥效果显著。孙凤霞等[8]通过对 Biolog-ECO 技术中平均吸光值(AWCD)的分析指出,施用有机肥能显著提高土壤的微生物生物量碳氮和微生物碳源利用率。林新坚等[9]采用平板计数法和 DGGE 分析发现,施用有机肥较不施肥或施用化肥提高了土壤不同种类微生物量。朱莱红等[10]的研究表明,配施有机肥可以促进土壤微生物对化肥氮的有效调控,使化肥氮更好地被转化利用。目前,国内外关于施用有机肥对烤烟、番茄等经济作物影响的研究较多,对梨树生长和土壤性状影响的研究鲜有报道。本文以黄冠梨为试验材料,研究了生物有机肥、鸡粪堆肥和有机无机复混肥三种有机肥对梨树生长、土壤微生物生物量及矿质态氮等的影响,以阐明不同有机肥对改善土壤生物性状和促进梨树生长的作用,为梨园科学施肥提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验区位于河北省辛集市马庄梨园(37°47′N, 115°17′E),地处华北平原腹地,属暖温带半湿润大陆性气候,年均气温 12.5℃,降水量 488 mm,主要分布在 6～9 月,无霜期 210 d,日照 2400 h。主栽品种为黄冠梨,树龄 15 年,砧木为杜梨,株行距为 3 m×5 m。供试土壤为砂质潮土,0—30 cm 土层含有机质 16.5 g/kg,全氮 1.63 g/kg,速效磷 47.2 mg/kg,速效钾 142 mg/kg,pH 7.49。

1.2　试验设计

试验于 2009 年 11 月布置 5 个施肥处理: 1)不施肥对照(CK); 2)传统施肥(TF),按当地果农习惯施肥,只施化肥不施有机肥; 3)生物有机肥(BOF); 4)鸡粪堆肥(CM); 5)有机无机肥(CF)。其中生物有机肥和鸡粪施肥量为 10000 kg/hm^2,有机无机肥施肥量为 5000 kg/hm^2。每个处理选取树势均一的 9 株树,每个小区 3 株树,重复 3 次,随机区组设计。采用环施法在供试树体滴水线以内 50 cm 施肥,并使用机械翻耕。2010 年 11 月第二次施肥。2011 年对土壤及树体发育与果实品质指标进行测定。

生物有机肥由江苏新天地生物肥料工程中心有限公司提供,鸡粪堆肥和有机无机复混肥由石家庄金太阳生物肥料有限公司提供。3 种有机肥的主要养分含量见表 1。

表 1　三种有机肥的主要养分含量(%)

Table 1　Contents of the main nutrients in three organic fertilizers

有机肥 Organic fertilizer	有机质 Organic matter	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K
生物肥 Bio-organic fertilizer	30.7	3.35	1.36	1.04
鸡粪 Chicken manure compost	19.8	1.45	1.52	1.70
有机无机复混肥 Organic-inorganic compound fertilizer	29.3	12.07	1.03	1.23

因各有机肥中氮磷钾的含量不等,于 2011 年 4 月梨树萌芽期用化肥补齐,每棵树各施 N 1.88 kg、P_2O_5 0.59 kg 和 K_2O 0.57 kg。试验树的其他管理按常规进行,疏花疏果后套袋。

1.3　研究方法

1.3.1 样品采集　分别于黄冠梨萌芽期(开花前 10 d)、幼果期(落花后 10 d)、第一次膨大期(落花后 40 d)、第二次膨大期(落花后 70 d)和成熟期(落花后 120 d),在树冠垂直投影内 0.5 m 处对角采集 0—30 cm 深混合土样,新鲜土样直接用于土壤微生物计数、土壤微生物量碳氮以及矿质态氮测定。梨树新梢长度、叶面积、叶绿素于膨大期测定。果实成熟时,每个小区按东、南、西、北四个方位共采集 12 个果实测定品质。

1.3.2 测定方法　树体生长指标：叶面积采用 YMJ－B 叶面积测量仪测定，新梢长度采用直尺测量，百叶重采用百分之一天平对新鲜叶片测定，叶绿素含量采用 SPAD－502 测定。

果实品质指标：果实硬度采用意大利 BREUZZI 公司生产的 FT 327 型硬度计测定，可溶性固形物含量采用日本 ATAGO 公司生产的 PAL－1 型电子折光仪测定，可溶性糖采用蒽酮比色法测定，可滴定酸采用标准酸碱滴定法测定，并根据测定结果计算糖酸比[11]。

微生物指标：微生物计数采用平板梯度稀释培养法，细菌培养采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基，放线菌培养采用高氏 1 号培养基，真菌培养采用马丁孟加拉红培养基[12]。微生物量碳、氮采用氯仿熏蒸—K_2SO_4 提取方法，浸提液用 Liqui-TOC Ⅱ测定[13]。

土壤矿质态氮采用 2 mol/L KCl 溶液浸提新鲜土样，滤液采用德国 Bran + Luebbe 公司的 Auto Analyzer 3 测定铵态氮和硝态氮，两者含量之和为矿质态氮含量。

1.4 数据处理

数据处理和分析采用 Microsoft excel 2007，SPSS 17.0 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对梨树生长的影响

对梨树地上部生长状况（表 2）分析可知，与 CK 处理相比，BOF 处理的新梢长度、叶面积、百叶重分别增加 22.9%、26.0% 和 9.3%，且差异达显著水平；其它施肥处理的新梢长度与 CK 处理的差异不显著。CM 处理的叶面积大小仅次于 BOF 处理，与 CK 相比增加 16.3%；TF 与 CF 处理的叶面积大小相近。TF、CM 和 CF 处理与 CK 处理相比百叶重差异不显著。不同处理梨树叶片的叶绿素含量范围在 49.05～50.15 mg/g，FW，处理间差异不显著。从梨树地上部生长状况分析，各有机肥处理增加了新梢长度，促进了叶片生长，叶面积和百叶重有所提高，其中 BOF 处理效果最好。

表 2　不同施肥处理对梨树生长的影响

Table 2　Effect of different fertilization treatments on the growth of pear

处理 Treatment	新梢长度 New shoot length (cm)	叶面积 Leaf area (cm^2)	百叶重 Weight of 100 leaves (g)	叶绿素含量 Chlorophyll content (mg/g, FW)
CK	30.75 ±3.31 b	57.62 ±5.61 b	127.13 ±6.35 b	49.05 ±2.31 a
TF	32.10 ±3.50 ab	63.57 ±8.35 ab	131.91 ±5.29 ab	49.28 ±2.08 a
BOF	37.78 ±3.42 a	72.59 ±7.21 a	138.95 ±4.83 a	50.14 ±1.92 a
CM	32.54 ±4.19 ab	67.04 ±7.79 ab	134.65 ±7.31 ab	49.79 ±1.98 a
CF	34.25 ±4.11 ab	64.38 ±7.02 ab	133.29 ±6.04 ab	50.15 ±2.17 a

注（Note）：同列数值后不同小写字母表示不同处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different small letters in the same column mean significantly different between different treatments at the 5% level.

2.2 不同施肥处理对梨产量和品质的影响

由表 3 可知，BOF 处理的单果重最大，与 CK、TF 处理相比分别增加了 17.4% 和 10.9%，差异达到显著水平。CF 处理的单果重仅次于 BOF 处理，较 CM 处理增加了 2.8%。CM 处理与 CK、TF 处理的单果重相近，未达显著差异。BOF 处理的梨果产量最高，较 CM 和 CF 处理分别增加 23.7% 和 24.8%；CM 和 CF 处理的产量与 CK 相比差异不显著。TF 处理的梨果实硬度最大，其次为 CF 处理，CM 和 BOF 处理的梨果实硬度显著低于 TF 处理。

CF 处理的可溶性固形物含量最高，其次为 TF 处理，与 CK 处理相比分别增加了 2.9% 和 2.6%；CM 处理的可溶性固形物含量与 CK 相比差异不显著。BOF、CM 和 CF 处理的梨果可溶性糖含量显著高于 CK 处理，分别提高了 28.2%、17.1% 和 20.6%，三种有机肥处理间差异不显著。不同施肥处理间的酸度差异不显著，范围在 0.100%～0.106%。BOF 处理的梨果实糖酸比最高，为 112，其次为 CF 处理，与 CM 处理相比分别增加了 12% 和 8%。TF 处理的糖酸比最低，CM 处理较 TF 处理增加 9.9%，差异达显著水平（表 3）。

表 3　不同施肥处理对梨产量和品质的影响

Table 3　Effect of different fertilization treatments on the yield and fruit quality of pear

处理 Treatment	单果重 Weight per fruit (g)	梨果产量 Yield (t/hm^2)	硬度 Firmness (lb/cm^2)	可溶性固形物 Soluble solids (%)	可溶性糖 Soluble sugar (%)	酸度 Titratable acidity (%)	糖/酸 Sugar-acid ratio
CK	238 ±21 b	32.7 ±5.7 b	6.64 ±0.51 bc	11.67 ±0.63 b	9.02 ±0.98 c	0.100 ±0.007 a	93 ±6.7 bc
TF	247 ±16 b	33.8 ±1.8 b	6.88 ±0.49 a	11.98 ±0.69 a	9.88 ±0.75 bc	0.108 ±0.013 a	91 ±5.4 c
BOF	274 ±14 a	43.8 ±5.7 a	6.46 ±0.53 c	11.88 ±0.47 a	11.56 ±0.88 a	0.104 ±0.005 a	112 ±9.0 a
CM	248 ±13 b	35.4 ±5.6 b	6.48 ±0.53 c	11.80 ±0.67 ab	10.56 ±0.62 ab	0.106 ±0.012 a	100 ±10.9 b
CF	255 ±12 ab	35.1 ±2.5 b	6.73 ±0.54 ab	12.01 ±0.54 a	10.88 ±1.08 ab	0.100 ±0.007 a	108 ±9.3 ab

注(Note): 同列数值后不同小写字母表示不同处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different small letters in the same column mean significantly different between different treatments at the 5% level.

2.3　不同施肥处理对梨园土壤微生物数量的影响

对土壤细菌数量的动态变化分析表明,各处理间的细菌数量变化趋势相同,从萌芽期开始细菌数量逐渐增加,在第一次膨大期均达到最大量,而第二次膨大期时数量又大幅下降,各处理间降幅为 36.1%～56.8%,至成熟期时变化平缓(表 4)。各施肥处理与 CK 相比,在不同生育时期存在着不同程度的差异。整个生育期 BOF 处理和 CF、CK 处理相比均使土壤细菌数量升高,差异达显著水平; TF 处理与 CK 相比无显著差异。BOF 处理的土壤细菌数量最高,与 CK 相比,增加幅度为 79%～109%,且在萌芽期和第二次膨大期显著高于其它施肥处理。CF 处理的土壤细菌数量较其它有机肥处理低,在萌芽期和幼果期与 CK、TF 处理间差异不显著。而在第一次膨大期、第二次膨大期和成熟期,CF 处理细菌数量显著高于 CK,分别增加了 29.8%、44.8% 和 44.0%。

表 4　不同施肥处理对梨园土壤细菌数量的影响 ($\times 10^6$ cfu/g)

Table 4　Effect of different fertilization treatments on the population of bacteria in pear orchard soils

处理 Treatment	萌芽期 Germination stage	幼果期 Young fruit stage	第一次膨大期 1st expanding stage	第二次膨大期 2nd expanding stage	成熟期 Maturity stage
CK	8.30 ±1.88 cB	9.31 ±1.23 cB	12.61 ±1.60 dA	7.20 ±1.18 cB	8.44 ±1.26 cB
TF	8.86 ±1.27 cB	10.05 ±1.17 cB	13.08 ±1.09 dA	6.27 ±1.27 cC	8.83 ±1.05 cB
BOF	16.01 ±1.87 aBC	18.94 ±2.23 aB	23.54 ±1.85 aA	15.04 ±1.74 aC	15.15 ±1.37 aC
CM	12.16 ±1.59 bB	13.86 ±1.95 bB	19.93 ±1.25 bA	9.55 ±0.95 bC	10.75 ±1.08 bBC
CF	10.44 ±1.42 bcB	10.67 ±1.88 bcB	16.37 ±1.54 cA	10.14 ±0.63 bB	12.15 ±1.15 abB

注(Note): 同列数值后不同小写字母表示不同处理间差异达 5% 显著水平,同行数值后不同大写字母表示不同时期间差异达 5% 显著水平 Values followed by different small letters in the same column mean significant difference between different treatments at the 5% level and different capital letters in the same row mean significant difference between different periods at the 5% level.

整个生育期土壤放线菌数量变化趋势与细菌相似(表 5),从萌芽期至第一次膨大期,放线菌数量逐步增加,增幅为 78.3%～155.2%。第二次膨大期数量急剧下降,成熟期变化幅度不大。而 CF 处理的土壤放线菌数量与其它处理相比,在第二次膨大期的下降幅度最小,与第一次膨大期无显著差异。整个生育期 BOF 与 CM 处理的土壤放线菌数量均高于 CK,且差异达到显著水平。而在萌芽期至第一次膨大期,BOF 处理放线菌数量显著高于 CF 处理,分别增加了 43.3%、45.6% 和 65.6%。TF 处理与 CK 间的放线菌数量无显著差异。

表5 不同施肥处理对梨园土壤放线菌数量的影响($\times 10^5$ cfu/g)

Table 5 Effect of different fertilization treatments on the population of actinomycetes in pear orchard soils

处理 Treatment	萌芽期 Germination stage	幼果期 Young fruit stage	第一次膨大期 1st expanding stage	第二次膨大期 2nd expanding stage	成熟期 Maturity stage
CK	1.75 ±0.41 cC	2.98 ±0.44 cB	4.48 ±0.33 dA	2.86 ±0.29 bB	3.38 ±0.45 cB
TF	1.85 ±0.49 cC	3.03 ±0.36 cB	4.09 ±0.35 dA	3.00 ±0.52 bB	3.30 ±0.38 cB
BOF	4.15 ±0.55 aC	6.05 ±0.50 aB	8.77 ±0.86 aA	5.69 ±0.61 aB	6.27 ±0.40 aB
CM	3.66 ±0.36 aC	4.90 ±0.58 bB	6.53 ±0.53 bA	5.02 ±0.59 abB	5.48 ±0.28 bB
CF	2.90 ±0.23 bC	4.15 ±0.55 bB	5.29 ±0.40 cA	5.00 ±0.42 b AB	5.64 ±0.50 abA

注(Note):同列数值后不同小写字母表示不同处理间差异达5%显著水平,同行数值后不同大写字母表示不同时期间差异达5%显著水平 Values followed by different small letters in the same column mean significant difference between different treatments at the 5% level and different capital letters in the same row mean significant difference between different periods at the 5% level.

真菌数量在整个生育期的动态变化趋势与细菌和放线菌有所不同(表6),从萌芽期至幼果期,真菌数量迅速增加,增幅为36.6%～108.7%。而幼果期至第一次膨大期,真菌数量略有增加,但差异不显著,至成熟期,数量小幅降低后变化缓慢。其中CF处理的土壤真菌数量与CK相比,除在萌芽期外其它时期差异均显著。BOF处理和CM处理的土壤在萌芽期至第一次膨大期真菌数量相近,且整个生育期均高于CK和CF处理,但成熟期CM处理显著高于BOF处理,前者是后者的1.16倍。

表6 不同施肥处理对梨园土壤真菌数量的影响 ($\times 10^4$ cfu/g)

Table 6 Effect of different fertilization treatments on the population of fungi in pear orchard soils

处理 Treatment	萌芽期 Germination stage	幼果期 Young fruit stage	第一次膨大期 1st expanding stage	第二次膨大期 2nd expanding stage	成熟期 Maturity stage
CK	1.52 ±0.28 bB	2.32 ±0.14 cA	2.66 ±0.28 cA	1.70 ±0.21 cB	1.84 ±0.25 dB
TF	1.67 ±0.36 bB	2.28 ±0.39 cAB	2.71 ±0.47 cA	1.87 ±0.28 cB	2.02 ±0.31 dAB
BOF	3.28 ±0.25 aC	5.51 ±0.36 aA	5.63 ±0.36 aA	4.18 ±0.25 aB	4.30 ±0.21 bB
CM	3.21 ±0.37 aC	5.02 ±0.43 aAB	5.34 ±0.50 aA	4.60 ±0.23 aB	4.99 ±0.21 aAB
CF	1.96 ±0.23 bC	3.87 ±0.49 bAB	4.30 ±0.45 bA	3.24 ±0.37 bB	3.40 ±0.40 cB

注(Note):同列数值后不同小写字母表示不同处理间差异达5%显著水平,同行数值后不同大写字母表示不同时期间差异达5%显著水平 Values followed by different small letters in the same column mean significant difference between different treatments at the 5% level and different capital letters in the same row mean significant difference between different periods at the 5% level.

2.4 不同施肥处理对梨园土壤微生物量碳、氮的影响

由图1可知,萌芽期BOF与CM处理的土壤微生物量碳含量显著高于其它处理,分别为CK的2.69倍和2.27倍。有机肥处理土壤微生物量碳在幼果期至第一次膨大期时增长幅度最大,增幅为29.5%～51.4%。第一次膨大期,BOF处理的微生物量碳含量最高,为310 mg/kg,该时期BOF、CM和CF处理的土壤微生物量碳含量分别为TF处理的2.84、2.00和1.72倍,且差异达显著水平。第二次膨大期,各处理土壤微生物量碳含量下降,BOF处理降幅最大,为29.4%,但BOF与CM处理仍显著高于其它处理,较CF处理分别增加31.2%和21.5%,与CK相比分别增加180%和159%。BOF处理土壤微生物量碳含量在整个生育期均为最高,且除成熟期外,其它时期均显著高于CK和CF处理。

土壤微生物量氮含量的变化趋势与微生物量碳相似,但幼果期至第一次膨大期时变化幅度更大,增幅为46.4%～71.9%(图1),很可能是由于萌芽期施入尿素,增加了微生物对矿质态氮固持的原因。在整个生育期BOF处理的土壤微生物量氮含量均为最高,且第一次膨大期时为86.5 mg/kg,较CM和CF处理分别增加32.4%和53.9%。CM处理在第

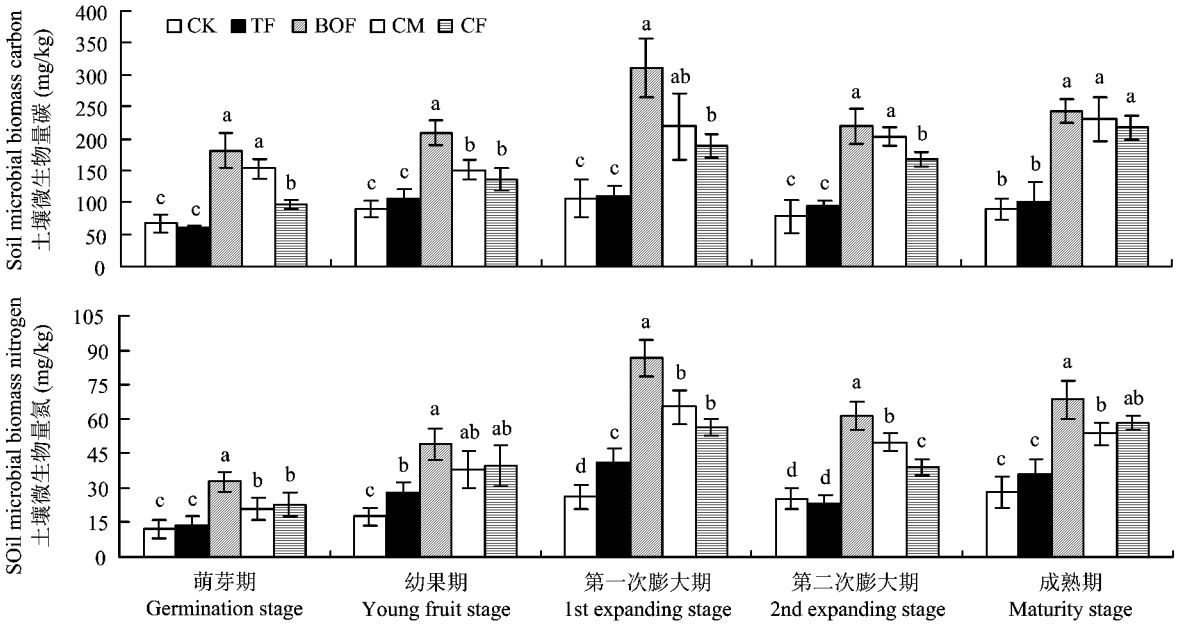

图 1　不同施肥处理对梨园土壤微生物量碳、氮含量的影响

Fig. 1　Effect of different fertilization treatments on the contents of soil microbial biomass carbon (SMBC) and soil microbial biomass nitrogen (SMBN) in pear orchards

[注(Note): 图柱上不同小写字母表示同一时期不同处理间差异达 5% 显著水平 Different small letters above the bars mean significant difference between different treatments at the 5% level in the same stage.]

二次膨大期时显著高于 CF 处理,前者为后者的 1.28 倍,其它时期两者差异不显著。由于尿素的施用,因此幼果期和第一次膨大期 TF 处理的土壤微生物量氮含量显著高于 CK。

2.5　不同施肥处理对梨园土壤矿质态氮的影响

图 2 表明,由于 3 月 22 日果园施用尿素作为萌芽肥,因此在萌芽期土壤中的铵态氮(NH_4^+-N)含量较高,但各施肥处理间没有显著差异。幼果期土壤 NH_4^+-N 含量急剧下降,降幅为 55.8%～90.7%。该时期 CF 处理和 TF 处理的 NH_4^+-N 含量显著高于其它施肥处理。第一次膨大期和第二次膨大期土壤 NH_4^+-N 含量低至 1 mg/kg,处理间差异不显著。成熟期前梨园施用尿素,因此除 CK 外其它处理 NH_4^+-N含量上升,但处理间差异不显著。萌芽期 CF 处理的土壤硝态氮(NO_3^--N)含量最高,为 206 mg/kg,显著高于其它处理。由于 NH_4^+-N 的转化,萌芽期至幼果期各施肥处理的土壤 NO_3^--N 含量有不同程度的增加,增幅为 1.9%～35.3%。萌芽期至第一次膨大期,CF 处理的土壤 NO_3^--N 含量显著高于其它施肥处理,这可能与 CF 含有含量相对较高的速效养分有关。第一次膨大期至第二次膨大期,各处理的土壤 NO_3^--N 含量大幅下降,降幅为 66.1%～80.2%。这可能与该时期梨果实迅速膨大,树体从土壤中需要吸收氮素养分较多有关。第二次膨大期,BOF 处理的 NO_3^--N 含量最高,为 CM 和 CF 处理的 1.62 倍和 1.30 倍。

从萌芽期至第一次膨大期,各处理土壤矿质态氮总量逐步下降,CF 处理土壤矿质态氮含量显著高于其它处理,前三个时期分别为 BOF 处理的 1.41 倍、1.25 倍和 1.24 倍。而第二次膨大期不同处理的土壤矿质态氮含量下降幅度较大,降幅为 66.1%～78.9%。该时期 BOF 处理的矿质态氮含量为 39.6 mg/kg,显著高于除 CF 处理以外的其它处理,同时 CM 处理和 CF 处理显著高于 CK 和 TF 处理,说明施用有机肥能够改善土壤的供氮能力。成熟期前,由于施入了尿素,土壤矿质态氮含量又出现不同程度增加(图 2)。

3　讨论

3.1　有机肥对梨树生长及产量和品质的影响

研究表明,施用有机肥梨树百叶重、叶面积和新梢生长量等均较 CK 有不同程度提高,果实单果重和产量有所增加,可溶性固形物和糖酸比也有所提高,品质得到改善。高晓燕等[14]和赵国栋等[15]

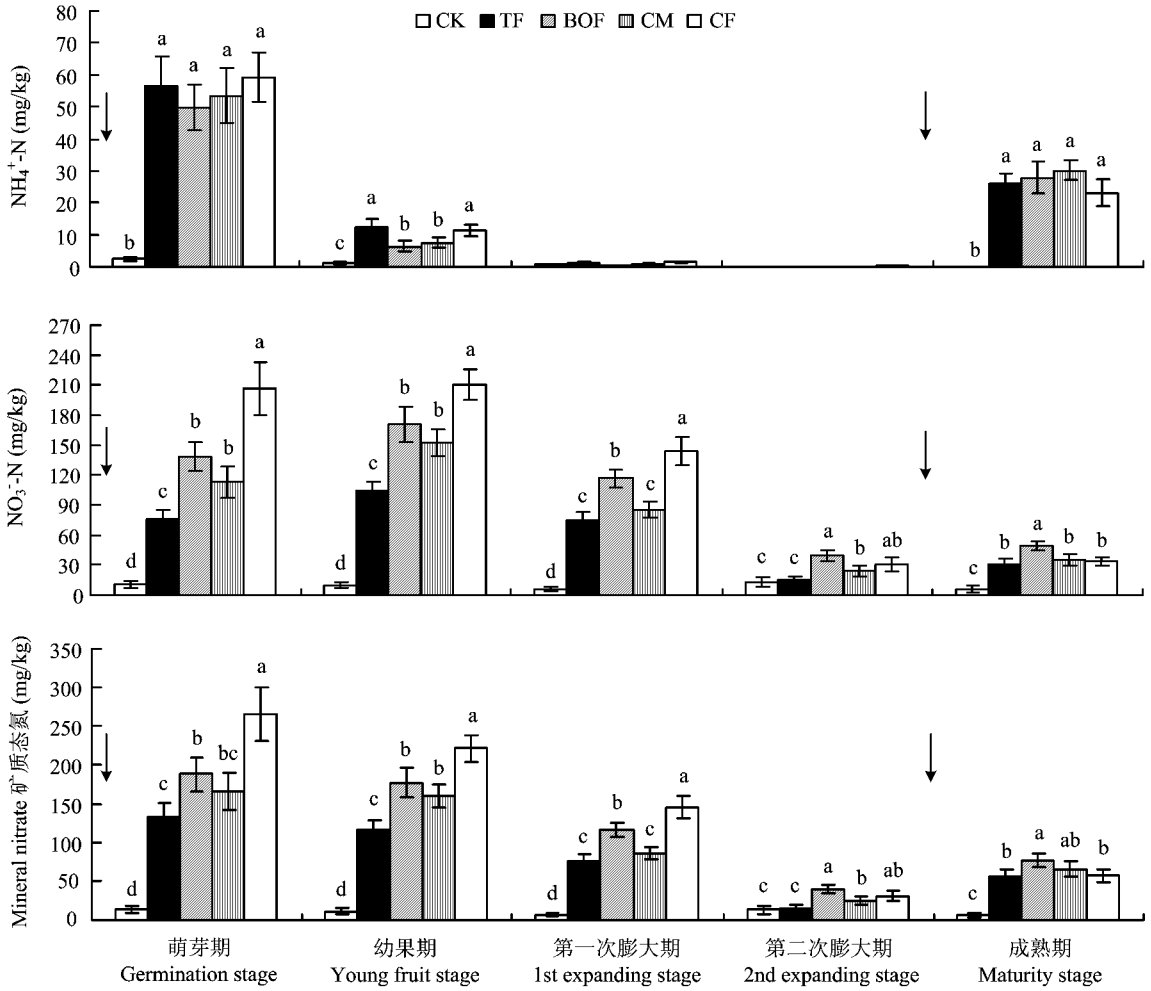

图2 不同施肥处理对梨园土壤矿质态氮含量的影响

Fig. 2 Application of different fertilization treatments on the contents of mineral nitrogen in pear orchards

[注(Note):箭头表示梨园施入尿素 The arrow means application urea,图柱不同小写字母表示同一时期不同处理间差异达5%显著水平 Different small letters above the bars mean significant difference between different treatments at the 5% level in the same stage.]

的研究也表明,施用商品有机肥和堆肥加生物微肥可以调控新梢生长和根系发育,增加叶面积和百叶重,提高果实品质。这可能与有机肥的施用提高了土壤中的微生物数量和微生物量碳、氮含量,使得根系生长的微域环境得到改善,根系活力加强有关[16]。同时,根际土壤中微生物的代谢产物如有机酸等可以溶解难溶性微量元素养分,促进根系对养分的吸收利用,从而带动了地上部的生长,光合能力增强,果实品质和产量得以提高[17-18]。本研究中施用有机肥可显著提高土壤微生物数量和微生物量碳、氮含量,其中BOF处理对促进梨树新梢和叶片生长,提高产量和品质等效果最为显著,可能与该生物有机肥中的功能菌多粘类芽孢杆菌(*B. polymyxa*)有关。多粘类芽孢杆菌施入土壤后可以迅速繁殖,改善土壤结构[19];Aslantas等[18]在苹果上的试验也证实,多粘类芽孢杆菌有机肥可以促进根系以及地上部的新梢和叶片的生长,提高果实产量。同时分析发现,生物有机肥中有机质含量为30.7%,因此BOF处理向土壤中带入较多的有机物料也是其可能的原因之一。

3.2 有机肥对梨园土壤生物性状的影响

土壤微生物在土壤养分循环、转化和平衡过程中起着重要的调节作用。本试验中施用不同有机肥,土壤微生物数量较CK和TF处理有不同程度的提高,与前人的研究结果相一致[20]。可能与有机肥含有较多的有机质,为微生物快速生长提供了丰富的碳源,且生物有机肥本身所含的微生物在施入土壤后会迅速增殖有关。因此,BOF处理的土壤微生物数量呈现最高。整个生育期CM处理的土壤细菌及放线菌数量低于BOF处理,而成熟期时前者的真

菌数量却高于后者，这也与王孝嫡等人[21]的研究结果相一致。而且，很可能也与鸡粪中本身就含有较高水平的真菌有关。

各有机肥处理均增加了土壤中微生物量碳、氮的含量，且与 CK、TF 处理间差异显著。TF 处理除在幼果期和第一次膨大期时的土壤微生物量氮含量显著高于 CK 外，其它时期两者间没有显著差异。徐永刚等[22]研究也表明，施用有机肥可显著提高土壤有机碳和土壤微生物量碳、氮含量。本试验还发现，土壤微生物量碳、氮的变化趋势与微生物数量相似，先逐渐增加再急剧下降，之后变化平缓。可能是由于生育初期，微生物数量迅速增加，同时土壤中部分矿质态氮被微生物固持在体内[23]，而 CK 和 TF 处理没有投入有机物，因此微生物量碳、氮含量增长有限。第二次膨大期时梨树根系大量吸收养分，同时土壤中的有机物料被大量消耗，土壤中没有足够的能源物质来维持微生物的生命活动，大量的微生物相继死亡，被固持在微生物体内的氮素释放出来供作物吸收利用[24]。

3.3　有机肥对梨园土壤矿质态氮的影响

梨树整个生长期各处理土壤矿质态氮表现出较一致的变化趋势。萌芽期至第一次膨大期，土壤矿质态氮含量逐步降低，这除了与梨树开始吸收利用有关外，还与土壤微生物固氮作用有关，此时土壤中微生物固持了较多的氮，使微生物量氮含量逐步增加。韩晓日等[25]发现，在作物生长过程中土壤微生物量氮的减少量与该时期内土壤矿质态氮的增加量呈极显著相关。第一次膨大期至第二次膨大期，随着土壤微生物死亡，体内被固持的氮释放出来，微生物量氮呈下降趋势，而土壤矿质态氮含量也降幅较大，很可能是由于梨树根系正处于第一次吸收高峰期，大量矿质氮被根系吸收[26]。此外，该时期雨量充足，部分硝态氮被淋洗至下层土壤也是可能的原因之一[27]。

BOF 处理的土壤矿质态氮在第二次膨大期和成熟期时最高，而 TF 处理则低于其它施肥处理，这可能由于生育前期大量无机氮肥施入土壤，TF 处理因缺少外来碳源导致土壤微生物对无机氮的固定能力较低，因此 BOF1 处理前期土壤微生物量氮含量高于 TF 处理，后期释放较多[28]。

综上分析，施用有机肥能刺激土壤微生物活动，从而将梨树来不及吸收利用的部分化肥氮固持转化为有机氮，减少土壤氮素的损失；当根系开始活动、树体需肥量增加时，微生物体释放和分解出固定的氮素供梨树生长所需。因此，土壤氮素的固持和释放改善了土壤供氮特性，提高了氮素利用率，对梨果产量的提高和品质的改善具有重要意义。

参 考 文 献：

[1] 刘侯俊，巨晓棠，同延安，等. 陕西省主要果树的施肥现状及存在问题[J]. 干旱地区农业研究，2002，20(1)：38-44.
Liu H J, Ju X T, Tong Y A *et al*. The status and problems of fertilization of main fruit trees in Shaanxi Province[J]. Agric. Res. Arid Areas., 2002, 20(1): 38-44.

[2] 刘秀春，高树青，王炳华. 辽宁省果树主产区果园土壤养分调查分析[J]. 中国果树，2011，(3)：63-66.
Liu X C, Gao S Q, Wang B H. Investigation of orchard soil nutrient in the main fruit production areas of Liaoning Province [J]. China Fruits, 2011, (3): 63-66.

[3] 安婷婷，汪景宽，李双异，等. 施用有机肥对黑土团聚体有机碳的影响[J]. 应用生态学报，2008，19(2)：369-373.
An T T, Wang J K, Li S Y *et al*. Effects of manure application on organic carbon in aggregates of black soil[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2008, 19(2): 369-373.

[4] 徐阳春，沈其荣，冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J]. 土壤学报，2002，39(1)：89-96.
Xu Y C, Shen Q R, Ran W. Effects of zero-tillage and application of manure on soil microbial biomass C, N, and P after sixteen years of cropping [J]. Acta Pedol. Sin., 2002, 39(1): 89-96.

[5] 林治安，赵秉强，袁亮，Hwat Bing-So. 长期定位施肥对土壤养分与作物产量的影响[J]. 中国农业科学，2009，42(8)：2809-2819.
Lin Z A, Zhao B Q, Yuan L, Hwat Bing-So. Effects of organic manure and fertilizers long-term located application on soil fertility and crop yield [J]. Sci. Agric. Sin., 2009, 42(8): 2809-2819.

[6] Hargreaves J, Adl M S, Warman P R *et al*. The effects of organic amendments on mineral element uptake and fruit quality of raspberries[J]. Plant Soil, 2008, 308: 213-226.

[7] Polat E, Demir H, Erler F. Yield and quality criteria in organically and conventionally grown tomatoes in Turkey[J]. Sci. Agricol., 2010, 67: 424-429.

[8] 孙凤霞，张伟华，徐明岗，等. 长期施肥对红壤微生物生物量碳氮和微生物碳源利用的影响[J]. 应用生态学报，2010，21(11)：2792-2798.
Sun F X, Zhang W H, Xu M G *et al*. Effects of long-term fertilization on microbial biomass carbon and nitrogen and on carbon source utilization of microbes in a red soil[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2010, 21(11): 2792-2798.

[9] 林新坚，王飞，蔡海松，等. 不同有机肥源对土壤微生物生物量及花生产量的影响[J]. 中国生态农业学报，2009，17(2)：235-238.
Lin X J, Wang F, Cai H S *et al*. Effects of different organic fertilizers on soil microbial biomass and yield of peanut[J]. Chin. J. Eco-Agric., 2009, 17(2): 235-238.

[10] 朱莱红，董彩霞，沈其荣，徐阳春. 配施有机肥提高化肥氮利用效率的微生物作用机制研究[J]. 植物营养与肥料学报，2010，16(2)：282-288.
Zhu C H, Dong C X, Shen Q R, Xu Y C. Microbial mechanism on enhancement of inorganic fertilizer - N use efficiency for combined use of inorganic and organic fertilizers[J]. Plant Nutr. Fert. Sci.，2010，16(2)：282-288.

[11] 高俊凤，孙群，梁宗锁，等. 植物生理实验技术[M]. 北京：高等教育出版社，2001.
Gao J F, Sun Q, Liang Z S *et al*. Experimental techniques on plant physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001.

[12] 许光辉，郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京：农业出版社，1986.
Xu G H, Zheng H Y. Handbook of methods for edaphon analysis [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1986.

[13] 金发会，李世清，卢红玲，李生秀. 石灰性土壤微生物量碳、氮与土壤颗粒组成和氮矿化势的关系[J]. 应用生态学报，2007，18(12)：2739-2746.
Jin F H, Li S Q, Lu H L, Li S X. Relationships of microbial biomass carbon and nitrogen with particle composition and nitrogen mineralization potential in calcareous soil[J]. Chin. J. Appl. Ecol.，2007，18(12)：2739-2746.

[14] 高晓燕，李天忠，李松涛，等. 有机肥对梨果实品质及土壤理化性状的效应[J]. 中国果树，2007，(5)：26-28.
Gao X Y, Li T Z, Li S T *et al*. Effect of organic fertilizer on pear fruit quality and physical and chemical properties of soil [J]. China Fruits, 2007, (5): 26-28.

[15] 赵国栋，魏钦平，张强，等. 砂土 1/4 根域施用有机肥对苹果幼树生长的影响[J]. 果树学报，2010，27(2)：179-182.
Zhao G D, Wei Q P, Zhang Q *et al*. Effects of 1/4 root zone applying organic manure on growth of young apple trees in organic glass box [J]. J. Fruit Sci.，2010，27(2)：179-182.

[16] Baldi E, Toselli M, Marangoni B. Nutrient partitioning in potted peach (*prunus persica* L.) trees supplied with mineral and organic fertilizers[J]. J. Plant Nutr.，2010，33：2050-2061.

[17] Roan S F, Nee W T, Cheng S H. Effects of organic fertilizer dosage and sod culture on soil reaction, organic matter and available nutrients content of a 'Tankan' (*Citrus tankan*) Orchard[J]. Acta Hortic.，2008，773：83-88.

[18] Aslantas R, Cakmakci R, Sahin F. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on young apple tree growth and fruit yield under orchard conditions [J]. Sci. Hortic.，2007，111：371-377.

[19] Gouzou L, Burtin G, Philippy R *et al*. Effect of inoculation with *bacillus-polymyxa* on soil aggregation in the wheat rhizosphere-preliminary examination[J]. Geoderma, 1993, 56: 479-491.

[20] 徐培智，解开治，陈建生，等. 南方酸性旱坡地桔园有机无机肥料配合施用效应研究[J]. 植物营养与肥料学报，2010，16(3)：650-655.
Xu P Z, Xie K Z, Chen J S *et al*. Effects of organic and inorganic fertilizers on sloping-land citrus orchards with acid soils in Southern China [J]. Plant Nutr. Fert. Sci.，2010，16(3)：650-655.

[21] 王孝嫡. 高效生物有机肥在果树上的应用效应[D]. 山东泰安：山东农业大学硕士学位论文，2005.
Wang X D. Application effect on fruit tree of bio-organic manure [D]. Taian, Shandong: MS thesis, Shandong Agricultural University, 2005

[22] 徐永刚，宇万太，马强，周桦. 长期不同施肥制度对潮棕壤微生物生物量碳、氮及细菌群落结构的影响[J]. 应用生态学报，2003，21(8)：2078-2085.
Xu Y G, Yu W T, Ma Q, Zhou H. Effects of long-term fertilizations on microbial biomass C and N and bacterial community structure in an aquic brown soil [J]. Chin. J. Appl. Ecol.，2003，21(8)：2078-2085.

[23] 李娟，赵秉强，李秀英，Hwat Bing-So. 长期不同施肥条件下土壤微生物量及土壤酶活性的季节变化特征[J]. 植物营养与肥料学报，2009，15(5)：1093-1099.
Li J, Zhao B Q, Li X Y, Hwat Bing-So. Seasonal variation of soil microbial biomass and soil enzyme activities in different long-term fertilization regimes [J]. Plant Nutr. Fert. Sci.，2009，15(5)：1093-1099.

[24] Thomsen I K, Viggo Kjellerup, Bendt Jensen. Crop uptake and leaching of ^{15}N applied in ruminant a slurry with selectively labeled feces and urine fractions[J]. Plant Soil, 1997, 97: 233-239.

[25] 韩晓日，邹德乙，郭鹏程，陈恩凤. 长期施肥条件下土壤生物量氮的动态及其调控氮素营养的作用[J]. 植物营养与肥料学报，1996，2(1)：16-22.
Han X R, Zou D Y, Guo P C, Chen E F. Change of soil biomass -N and its role in adjusting-controlling nitrogen nutrition under long-term fertilization conditions [J]. Plant Nutr. Fert. Sci.，1996，2(1)：16-22.

[26] 王衍安，闫志刚，张元珍，等. 不同锌水平果园苹果树锌含量的年周期变化动态[J]. 中国农业科学，2010，43(10)：2098-2104.
Wang Y A, Yan Z G, Zhang Y Z *et al*. Annual dynamics of zinc contents in apple trees under different zinc levels of apple orchard [J]. Sci. Agric. Sin.，2010，43(10)：2098-2104.

[27] 王芝义，郭瑞英，李凤民. 不同夏季填闲作物种植对设施菜地土壤无机氮残留和淋洗的影响[J]. 生态学报，2011，31(9)：2516-2523.
Wang Z Y, Guo R Y, Li F M. Effects of different summer catch crops planting on soil inorganic N residue and leaching in greenhouse vegetable cropping system [J]. Acta Ecol. Sci.，2011，31(9)：2516-2523.

[28] 孟琳，张小莉，蒋小芳，等. 有机肥料氮替代部分化肥氮对稻谷产量的影响及替代率[J]. 中国农业科学，2009，42(2)：532-542.
Meng L, Zhang X L, Jiang X F *et al*. Effects of partial mineral nitrogen substitution by organic fertilizer nitrogen on the yields of rice grains and their proper substitution rate [J]. Sci. Agric. Sin.，2009，42(2)：532-542.