植物营养与肥料学报 2013,19(2):379-386
Plant Nutrition and Fertilizer Science doi: 10.11674/zwyf.2013.0214

沼液配施化肥对太湖地区水蜜桃品质及土壤氮素累积的影响

汪吉东[1,2,3], 曹 云[1,3], 常志州[1,3], 张永春[1,3*], 马洪波[1,3]
(1 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 南京 210014; 2 中国科学院大学,北京 100049;
3 农业部江苏耕地保育科学观测实验站,南京 210014)

摘要: 将沼液农田回用是有机废弃物资源化与循环利用的重要途径。以7年生蜜露桃树为供试材料,通过连续2年牛粪沼液和水葫芦沼液的果园田间施用试验,研究等氮量条件下不同比例沼液与化肥配施对水蜜桃果实大小、单重、产量和果实品质及土壤矿质氮积累状况的影响。结果表明,1)水葫芦沼液、牛粪沼液和化肥配施可提高水蜜桃的产量与品质,在水葫芦沼液25% 配施比例、牛粪沼液50% 配施比例下产量及果实的可溶性固形物、糖分含量分别为最高,水葫芦及牛粪沼液中的水分含量是影响桃树产量和品质的关键因子,其适宜用量为200 kg/(plant·a);2)各施肥处理土壤 NH_4^+ 含量随土壤深度增加呈递减趋势;沼液比例过高(75%和100%)会导致土壤硝酸盐在表层和近地下水层的累积,比例低下则硝酸盐累积不明显;习惯施肥(过量施肥)和低比例沼液(相应的高化肥比例)处理硝酸盐主要累积于犁底层之上;3) 连续2年在沼液灌溉条件下,25%的水葫芦沼液、50%的牛粪沼液配施比例处理其近地下水层土壤硝酸盐含量均低于15 mg/kg,处于安全可控范围,但在该地区(高地下水水位)进行长期沼液灌溉尚需进一步观测和评价。

关键词: 水蜜桃; 沼液; 产量; 品质; 矿质氮
中图分类号: S622.1; S141.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2013)02-0379-08

Effects of combined application of biogas slurry with chemical fertilizers on fruit qualities of *Prunus persica* L. and soil nitrogen accumulation risk

WANG Ji-dong[1,2,3], CAO Yun[1,3], CHANG Zhi-zhou[1,3], ZHANG Yong-chun[1,3*], MA Hong-bo[1,3]
(*1 Institute of Agricultural Resource and Environmental Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Scientific Observation and Experimental Station of Farmland Conversation and Cultivation in Jiangsu, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China*)

Abstract: The intensive crop production and livestock breeding in China are always accompanied by the production of large amounts of manure and plant residues, not properly managed by farmers, resulting in a considerable threat to environment. Anaerobic digestion has been demonstrated to be an attractive treatment that provides several benefits to improvement of biomass energy and development of recycling agriculture. A two-year field experiment was carried out to study the effects of combined application of anaerobically digested dairy slurry (DS) and water hyacinth slurry (WHS) with chemical fertilizers on fruit production and quality of peach (*Prunus persica* L.) and accumulation of soil mineral nitrogen. The results show that the combined applications of biogas slurry with chemical fertilizers improve the yield and quality of peach. In the condition of equal amount of nitrogen application, the treatment of 25% N substituted by WHS and 75% N substituted by DS shows the highest contents of soluble solids and sugar. And the rational application rates of the DS and WHS were 200 kg/plant annually. The soil NH_4^+ concentrations are decreased with the increase of soil depth. Over-substitution of N by biogas slurry (75% and

收稿日期: 2012-09-19 **接受日期:** 2012-12-31
基金项目: 国家科技支撑计划(2009BAC63B-02); 国际合作项目(IPNI-Jiangsu-10)资助。
作者简介: 汪吉东(1979—),男,湖北黄石人,助理研究员,博士研究生,主要从事土壤质量研究。E-mail: jdwang@issas.ac.cn
* 通信作者 yczhang66@sina.com

100%) can cause nitrate accumulation in surface and subsurface soil layers, while the low rate substitutions of N have no significant impacts on nitrate accumulation in surface and subsurface layers. Nitrate mainly is accumulated in the plough pan for the treatments of traditional fertilization (excessive fertilization) and the low N substitution rates by biogas slurry. The nitrate concentrations in subsurface soil layer treated by 25% N substitution by WHS and 50% N substitution by DS are in the safety range of 15 mg/kg, however, further observation and evaluation on the nitrate accumulation in soils will be necessary if long term fertilization by biogas slurry is implemented in the region.

Key words: *Prunus persica* L.; biogas slurry; yield; quality; mineral nitrogen

动、植物源沼液是畜禽养殖及种植业废弃物厌氧发酵处置的终端产物之一,含水量高,且含有大量养分,而水分和养分是果树生长发育的物质基础,两者相互促进又相互制约。因地制宜地利用水分和养分,使其产生协同作用,达到高产优质的目的,对节约水肥资源、保护环境具有重要的意义[1-2]。利用水葫芦富集大量氮、磷、钾等营养元素修复富营养水体,并通过厌氧发酵产生沼气,是实现其能源化利用的重要方式。发酵残留沼液进行农田回用,既可减少作物生产上的水分和化肥投入,以灌溉冲肥(fertigation)的施肥方式又可节省施肥成本,是实现畜禽养殖粪便和种植业残渣资源化和水肥一体化的重要途径[3]。

江苏环太湖地区是软溶质水蜜桃(*Prunus persica* L.)的重要产地之一,所产水蜜桃皮薄肉厚,汁多味甜,营养丰富,深受广大消费者的喜爱[4]。享誉中外的阳山水蜜桃的生产成为苏南环太湖地区农业的支柱产业[5]。然而,在该地区水蜜桃生产上存在养分管理水平低,重施氮肥,盲目增施钾肥及水肥管理不合理等问题,造成桃树流胶严重,树体易老化现象[6]。不合理的氮素管理除影响桃果实的产量及果实风味品质等外,还会造成地下的水硝酸盐污染及周边水体的富营养化。研究发现,部分地区桃园氮素盈余量已超过 700 kg/hm^2,且存在水分管理粗放,难以满足桃树生长和果实生产需要[7-8]。目前对江苏环太湖地区水蜜桃养分管理方面的问题研究较少,而关于水肥管理对水蜜桃生长及土壤矿质氮影响方面的报道更少。因此,本文通过在等氮量条件下不同比例的牛粪和水葫芦沼液与尿素配施,研究其对桃果实品质及土壤矿质氮累积的影响,以期为集约化养殖业和种植业产品的资源化利用和水蜜桃的水肥科学管理提供理论依据,为动植物沼液利用的土壤环境风险评价提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验果园概况

试验于 2009 ~ 2011 年在常州市雪堰镇谢家桥村桃园进行,该区地处太湖之滨,毗邻无锡马山,离"阳山水蜜桃"产地无锡阳山镇约 20 km,年均降水量 1200 mm,地下水埋深 0.8 ~ 2 m。供试桃树品种为湖景蜜露,树龄 7 年,果园连片面积 7000 m^2,株行距 4 m × 4 m。土壤为淤泥质河淤土,土壤基本理化性状见表 1。

1.2 试验设计

选择树龄和树势均匀一致的桃树,每 3 株为 1 个处理,每个处理重复 3 次,处理之间设隔离树,随机区组排列。

水葫芦经螺旋挤压后的汁液进入大型发酵罐,发酵 30 d 后,取中层沼液,其养分含量为 N 0.65 ~ 0.8 kg/t, P_2O_5 1.12 ~ 1.58 kg/t, K_2O 1.1 ~ 1.5 kg/t,平均养分含量为全 N 750 mg/kg, P_2O_5 137 mg/kg, K_2O 1205 mg/kg。牛粪沼液取自无锡马山奶

表 1 土壤的基础理化性状

Table 1 Basic physical and chemical properties of tested soils

土层 Soil layer (cm)	pH	有机质 Org. matter (g/kg)	碱解氮 Alkal. N (mg/kg)	有效磷 Avail. P (mg/kg)	速效钾 Avail. K (mg/kg)
0—20	5.98	14.21	169.09	56.61	138.7
20—40	6.11	12.14	132.22	32.23	112.3
40—60	6.20	9.32	80.21	14.82	80.8

牛场,养分含量为 N 1.2 ～ 1.5 kg/t,P_2O_5 2.25 ～ 2.92 kg/t,K_2O 2.1 ～ 2.4 kg/t,平均养分含量为全 N 1450 mg/kg,P_2O_5 275 mg/kg,K_2O 2289 mg/kg。设每棵桃树养分用量为:N 600 g,P_2O_5 200 g,K_2O 900 g。根据水葫芦和牛粪沼液养分的投入量,制定相应化肥投入量,使总施氮、磷、钾量一致,沼液养分量及对应的化肥施入量见表 2,其中 100% 水葫芦沼液处理每株桃树施用量为 800 kg/plant,100% 牛粪沼液处理每株桃树施用量为 400 kg/plant。所有沼液处理的施用时期为:休眠期施入总量的 60%,花前期施 15%,花后期施 15%,果实膨大期施 10%。化肥施用量为:氮肥(尿素,含 N 46.0%)休眠期施总量的 20%,花前期 40%,花后期 20%,果实膨大期 20%;磷肥(普钙,含 P_2O_5 12%)休眠期施 80%,花前期施 20%;钾肥(硫酸钾,含 K_2O 50%),休眠期施 40%,花前期 10%,花后期 20%,果实膨大期 30%。习惯施肥处理除施肥量与 100% 化肥处理不同外,施用时期及方法均相同。各化肥处理除正常施用沼液外,按正常管理浇水,均不额外补充水分,化肥用沼液溶解后,环状浇施。

表 2　不同处理养分投入量

Table 2　Nutrients application amounts of different treatments

沼液比例 Ratio of biogas slurry (%)	水葫芦 Water hyacinth						牛粪 Cattle manure					
	沼液养分量(g/plant) Nutrients in biogas slurry			化肥养分量(g/plant) Nutrients of chemical fertilizers			沼液养分量(g/plant) Nutrients in biogas slurry			化肥养分量(g/plant) Nutrients of chemical fertilizers		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
100	600	250	1500	0	0	0	600	250	1500	0	0	0
75	450	187.5	1125	150	12.5	0	450	187.5	1125	150	12.5	0
50	300	125	750	300	75	150	300	125	750	300	75	150
25	150	62.5	375	450	137.5	525	150	62.5	375	450	137.5	525
0	0	0	0	600	200	900	0	0	0	600	200	900
习惯施肥 FFP	0	0	0	1624	180	1800	0	0	0	1624	180	1800

注(Note):FFP—Farmer fertilizer practice.

1.3　测定指标与方法

试验前、后距离树干约 80 cm 处分 5 点采集 0—40 cm 土层土壤,混匀后,风干磨细过筛后(根据测定项目不同过 1.0 mm 和 0.15 mm 筛),土壤有机质(OM)采用 $K_2Cr_2O_7$ 容量法测定。pH 采用水土比 1∶2.5,复合电极测定;碱解氮用扩散法测定;有效磷采用 $NaHCO_3$ 浸提,钼锑抗比色法测定;速效钾采用醋酸铵浸提,火焰光度法测定。

果实采集:每株树选择同期成熟的所有果实,用游标卡尺测定桃子的直径和横径,并对每个桃子称重,每株随机取 4 个果实,每处理共 12 个果。

果实品质的测定:果实采集后带回实验室经蒸馏水洗涤后,迅速测定果实品质。可溶性固形物用手持折光仪进行测定,总糖用蒽酮比色法,可滴定酸用 NaOH 滴定法测定。

2　结果与分析

2.1　不同处理对水蜜桃产量及果实大小的影响

果实品质指标可分为外观品质、风味品质、营养品质和贮运品质[9-10]。外观品质与风味品质可决定水果的市场核心竞争力,而单果重和横径是表征水蜜桃外观品质的最直观的指标,其大小决定水蜜桃的商品价值,比产量更能反映其经济价值。不同施肥处理水蜜桃的大小及产量见表 3,从表 3 可以看出,水葫芦沼液和牛粪沼液(相同沼液类型不同比例处理)组内各处理水蜜桃的直径大小均无显著差异,各组内处理产量均以习惯施肥处理产量最低,并显著低于其它处理。

从外观品质指标看,水葫芦沼液处理组内桃单果重和横径都以 25% 的沼液比例的处理最高,显著高于 100% 的沼液处理,而其它处理间差异不显著;对于牛粪沼液处理组,沼液比例为 50% 的处理的单果重和横径最高,而 25% 的比例处理单果重和横径则最低,但各处理间果实直径无显著差异。由于水

表3 不同处理水蜜桃的大小及产量

Table 3 Peach sizes and yields of different treatments

沼液比例 Ratio of biogas slurry (%)	水葫芦 Water hyacinth				牛粪 Cattle manure			
	单果重(g) Single fruit weight	横径(cm) Transverse diameter	直径 Diameter (cm)	产量 Yield (kg/plant)	单果重(g) Single fruit weight	横径(cm) Transverse diameter	直径 Diameter (cm)	产量 Yield (kg/plant)
100	190 b	7.56 ab	6.61 a	32.2 a	205.4 ab	7.33 bc	6.91 a	35.6 ab
75	209 ab	7.77 a	6.66 a	37.9 a	204.2 ab	7.31 c	6.87 a	33.4 b
50	195 ab	7.52 ab	6.78 a	35.3 a	213.0 a	7.50 a	6.93 a	38.1 a
25	223 a	7.91 a	6.97 a	38.4 a	193.9 c	7.30 c	6.73 a	35.8 ab
0	215 ab	7.69 a	6.81 a	34.9 a	201.3 bc	7.46 ab	6.95 a	34.9 b
习惯施肥 FFP	203 ab	7.24 b	6.69 a	20.0 b	204.0 ab	7.36 abc	6.83 a	20.0 c

注(Note): FFP—Farmer fertilizer practice. 产量数据为两年数据的平均值 Values of peach yields are the two-year average data. 表中同一列中不同字母表示差异达5%显著水平 Different letters in the same column mean significant at the 5% level.

蜜桃的商品价值主要取决于单果重、横径大小及产量,因此从不同处理对水蜜桃果实的影响来看,25%比例的水葫芦沼液处理、50%比例的牛粪沼液处理为最佳比例处理。

2.2 不同处理对水蜜桃果肉品质的影响

水果的糖酸含量与水果种类、成熟度及生理代谢有关[11]。大多数消费者喜欢柔软多汁且甜味浓的水蜜桃,故糖含量高且糖酸比值低的桃最受大众欢迎[12]。本试验中不同处理水蜜桃果实品质指标见表4,结果显示,水葫芦沼液组,25%比例的沼液处理水蜜桃果实可溶性固形物高出其它处理6.3%～26.4%,且糖度也最高,比其它处理高14.3%～24.3%;牛粪沼液组,50%比例的沼液处理可溶性固形物和糖度均最高,酸度也较高。对水葫芦沼液组,不同处理水蜜桃酸度(可滴定酸)为0.23%～0.34%,以100%沼液比例处理最高,25%比例处理的最低,对应的水蜜桃果实糖酸比为29.1～56.1,以25%比例的沼液处理最高,100%比例处理的最低,并且不同处理间糖酸比差异显著。不同比例水葫芦沼液处理间(除25%沼液比例处理外)糖酸比随沼液比例的增加而下降,且习惯施肥处理44.8的糖酸比仅次于25% 比例的沼液处理。对牛粪沼液

表4 不同施肥处理下水蜜桃品质

Table 4 Peach fruit quality of different treatments

沼液比例 Ratio of biogas slurry (%)	水葫芦 Water hyacinth				牛粪 Cattle manure			
	可溶性固形物 Soluble soild (%)	总糖度 Brix (%)	可滴定酸 Titration acid (%)	糖酸比 TB/TA	可溶性固形物 Soluble soild (%)	总糖度 Brix (%)	可滴定酸 Titration acid (%)	糖酸比 TB/TA
100	12.1 c	9.9 b	0.34 a	29.1 e	14.0 cd	11.4 ab	0.30 c	38.2 b
75	12.5 c	10.2 b	0.31 c	32.9 d	14.3 bcd	11.0 b	0.45 a	24.7 d
50	14.0 ab	11.0 ab	0.33 b	33.5 d	14.9 a	11.8 a	0.38 b	30.1 c
25	15.3 a	12.8 a	0.23 f	56.1 a	14. 6 b	11.2 ab	0.30 c	37.2 b
0	13.3 bc	10.0 b	0.27 d	36.6 c	13.9 d	11.0 b	0.28 cd	39.1 b
习惯施肥 FFP	14.4 ab	11.2 ab	0.25 e	44.8 b	14.4 bc	11.2 ab	0.25 d	44.1 a

注(Note): TB—Total brix, TA—Total acid. 品质指标为连续施用沼液2年后的数据 Fruit quality values are those with two years' application of biogas slurry. 表中同一列中不同字母表示差异达5%显著水平 Different letters in the same column mean significant at the 5% level.

组，不同处理水蜜桃酸度（可滴定酸）为 0.25%～0.45%，以习惯施肥处理最低，而 75% 的比例牛粪沼液处理最高。各处理糖酸比为 24.7～44.1，以 75% 比例的牛粪沼液处理最低，习惯施肥处理最高。从水葫芦沼液组和牛粪沼液组总体来看，糖酸比随沼液比例增加呈下降趋势，表明，水蜜桃果实的糖酸比可能受养分和水分的共同作用，过量施用沼液能显著降低水蜜桃果实的糖酸比，该结果与 kilili 等[13]的研究结果类似。

2.3　不同处理对土壤矿质氮含量的影响

地下水中的硝酸盐含量是衡量水质生态安全的重要参数，目前由于不合理施氮导致的地下水硝酸盐含量超标已成为土壤环境质量和健康质量研究方面关注的热点。2 年连续施用水葫芦沼液、牛粪沼液及其与化肥配施后土壤 NH_4^+-N、NO_3^--N 及矿质氮含量见图 1，图 2 和图 3。

图 1 显示，无论水葫芦沼液组和牛粪沼液组，NH_4^+-N 主要分布在 20 cm 土层之上，随土壤深度增加其含量呈下降趋势，含量最高的为 0—5 cm 层。土壤 NH_4^+-N 含量均随沼液比例的提高而上升，纯化肥处理最低，但习惯施肥处理 0—5 cm 和 5—10 cm 土层的 NH_4^+-N 含量均大于其它处理；和 NH_4^+-N 在土壤剖面中的分布不同，在 0—60 cm 的土壤剖面中，水葫芦沼液组和牛粪沼液组的 NO_3^--N 含量在 0—10 cm 和 20—40 cm 土层较高（图 2），10—20 cm 和 40—60 cm 的 NO_3^--N 含量则处于较低水平。在 0—5 cm 和 20—40 cm 土层中，各处理间差异明显，均表现为沼液比例大于 50% 的处理 NO_3^--N 含量大于相应沼液组中比例为 50%、25% 和纯化肥处理，而习惯施肥处理 NO_3^--N 含量在 5—10 cm 及 10—20 cm 土层中均最高。和地下水接近的 40—60 cm 土层，无论是水葫芦沼液组还是牛粪沼液组，组内各处理 NO_3^--N 含量均为随沼液比例的升高而上升，其趋势与 0—5 cm 土层一致，且水葫芦沼液组各处理土

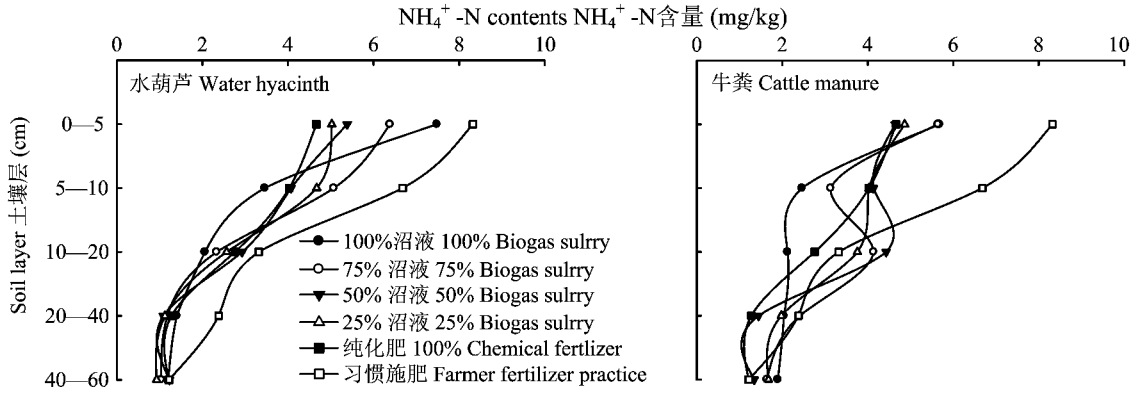

图 1　不同处理连续施用沼液 2 年后土壤各层次的铵态氮含量

Fig. 1　NH_4^+-N contents of different soil layers with different fertilizer treatments after the 2a application

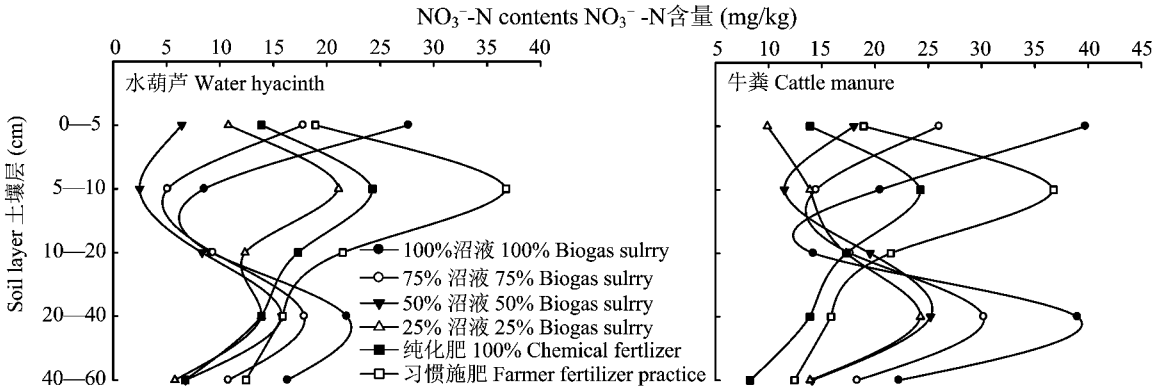

图 2　不同处理连续施用沼液 2 年后土壤各层次的硝态氮含量

Fig. 2　NO_3^--N contents in different soil layers with different fertilizer treatments after 2a application

壤 NO_3^--N 含量有比牛粪沼液组中对应处理高的趋势。由此可以看出,沼液比例过高可导致土壤硝酸盐在表层和近地下水层的累积,过量施肥的习惯施肥处理和低比例沼液处理(对应高化肥比例)其硝酸盐主要累积在 5—20 cm 土层,这可能与过多的施用沼液导致硝酸盐穿透土壤犁底层,使硝酸盐在土壤下层累积,而低比例的化肥施用则主要累积于犁底层附近有关。

由于各土层 NO_3^--N 含量远大于对应处理的 NH_4^+-N,因此水葫芦沼液组和牛粪沼液组的矿质氮主要受 NO_3^--N 含量的影响,由此矿质氮含量的变化趋势和 NO_3^--N 一致(图 3)。

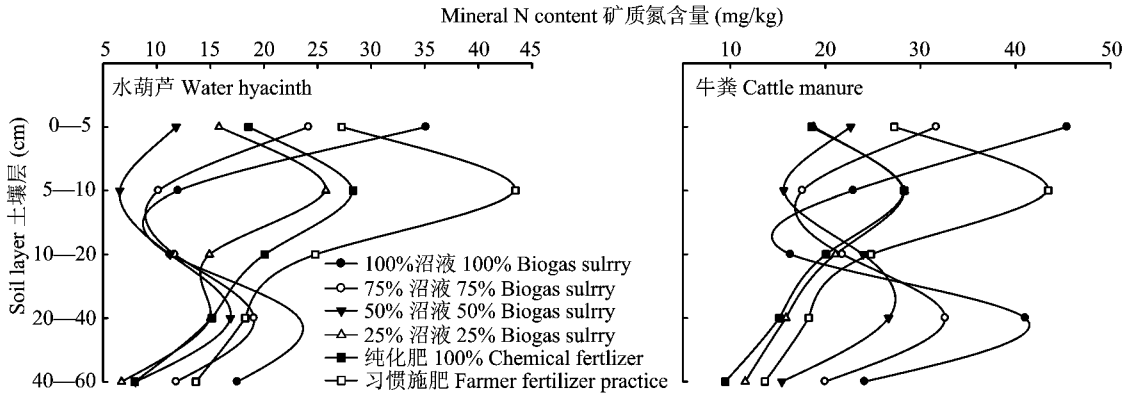

图 3 不同处理连续施用沼液 2 年后土壤各层次的矿质态氮含量

Fig. 3 Mineral nitrogen contents in different soil layers with different fertilizer treatments after 2a application

3 讨论

水肥一体化,又称水肥耦合或灌溉施肥技术,它是根据作物的需肥特点,定量供给作物水分和养分以维持土壤适宜的水分和养分浓度,因为肥料准确均匀地施在根系周围,能较好地满足桃树生长关键期对养分和水分的需求,在提高坐果率的同时养分利用率也明显提高[15]。本研究中习惯施肥处理单果重和其它处理差异较小,但坐果率却过低,过量施氮会使在果实膨大期过量落果从而导致产量显著低于其它处理。相同施氮量的各处理,水葫芦沼液组水蜜桃单果重及产量都以 25% 比例的沼液处理最高,而牛粪沼液组则均以 50% 比例的沼液处理最高,表明施用沼液提高产量与单果重的提高有关。本研究结果还显示,25% 比例的水葫芦沼液、50% 比例的牛粪沼液处理,其沼液施用量都为每株 200 kg,水蜜桃果实的可溶性固形物和糖度含量都显著高于纯沼液和纯化肥处理,且酸度显著低于上述两处理,而 100% 的沼液处理桃果实外观品质和风味品质均最差。Robert[16] 和马福生等[17] 发现适当控制水分可以促进苹果果实可溶性固形物和糖分含量,李晓彬等[10] 研究也表明,过多的水分投入会降低梨枣果实品质指标。本研究及上述结果表明 25% 比例的水葫芦沼液、50% 比例的牛粪沼液处理可获得桃果实的最佳品质,这可能与沼液中大量的水分供应有关,而在当地桃树适宜的灌溉水分用量可能不宜大于 200 kg/(plant · a)。

沼液作为有效的肥料灌溉资源,在国际上越来越受到重视[18]。当施用的矿质养分不能全部被作物吸收利用时,由于土壤胶体对 NO_3^- 吸附能力弱,沼液施用过程中,氮的吸收不足造成土壤氮残留时,在降雨和灌溉条件下,NO_3^- 容易从土壤中淋洗出来,引起地下水硝酸盐的污染[19]。此外,在通气良好的土壤中,自养硝化微生物能很快地将铵态氮转化为硝酸盐在土壤中存留,使土壤硝酸盐淋失成为可能。但由于果树根系发达,分布在根系范围内的大部分硝态氮可被果树利用,这部分硝态氮随水迁移到深层土壤的可能性不大[20]。本研究表明,连续施用沼液及化肥 2 年,土壤剖面各层次 NH_4^+ 浓度都低于 10 mg/kg,维持在较低水平,而硝态氮含量除在 5—10 cm 土层含量较高外,20—40 cm 土层也维持较高浓度,而沼液施用比例低于 75% 的处理,靠近地下水的 40—60 cm 土层硝态氮含量都低于 15 mg/kg,此趋势与在该地域开展的蔬菜沼液试验结果相一致[14],王艳萍等研究也表明,果园适量施用有机肥不会造成土壤硝酸盐的过度累积[21]。但沼液比例过高(75% 和 100%)会导致土壤硝酸盐在表

层和近地下水层的累积，过量施肥的习惯施肥处理和低比例沼液处理（对应高化肥比例）硝酸盐主要累积于 5—20 cm 土层，这可能与过多的施用沼液使硝酸盐穿透土壤犁底层，导致下层土壤硝酸盐累积有关。连续 2 年沼液灌溉下，沼液比例为 75% 和 100% 的水葫芦沼液和牛粪沼液其近地下水层土壤硝酸盐含量接近和超过 20 mg/kg，存在潜在的环境风险，其在土壤中的分布及淋洗规律和对地下水安全的影响尚需开展更长年限的研究。

4 结论

1）习惯施肥由于过量施氮其落果率高，坐果率低从而导致产量显著降低。水葫芦沼液、牛粪沼液和化肥配施可提高水蜜桃产量、改善单果重、横径及水蜜桃果实风味，其中水葫芦沼液和牛粪沼液与化肥配施比例分别为 25%、50% 时为最佳，对应的沼液用量相同，为 200 kg/(plant · a)，表明水分是影响沼液与化肥配施后水蜜桃生长及果实品质的关键因素；过量施肥的习惯施肥处理虽然水蜜桃糖酸比较高，但糖度不高，因此风味较差。

2）各处理下土壤铵态氮含量随土层深度的增加呈递减趋势，沼液比例过高（75% 和 100%）会导致土壤硝酸盐在表层和近地下水层累积；过量施肥的习惯施肥处理和低比例沼液处理（对应高化肥比例）硝酸盐主要累积于犁底层之上。

3）连续 2 年沼液灌溉条件下 25% 的水葫芦沼液、50% 的牛粪沼液配施比例其近地下水层土壤硝酸盐含量都低于 15 mg/kg，处于安全可控范围，但在该地区（高地下水水位）进行长期沼液灌溉尚需进一步观测和评价。

致谢：江苏省农业科学院园艺研究所马瑞娟研究员及其团队对样品提供了分析服务，在此致谢。

参 考 文 献：

[1] 尹淑丽，黄亚丽，张丽萍，等. 沼液对鸭梨品质和产量的影响[J]. 中国沼气，2012，30(3)，38-40.
Yin S L, Huang Y L, Zhang L P *et al*. The effects of biogas slurry on Ya pear's fruit quality and yield[J]. China Biogas, 2012, 30(3), 38-40.

[2] 孙霞，柴仲平，蒋平安，等. 水氮耦合对苹果光合特性和果实品质的影响[J]. 水土保持研究，2010，17(6)：271-274.
Sun X, Cai Z P, Jiang P A *et al*. Effects on the photosynthetic characteristics and the quality of the apple under the water and nitrogen coupling[J]. Res. Soil Water Conserv., 2010, 17(6): 271-274.

[3] 汪吉东，马洪波，高秀美，等. 水葫芦发酵沼液对紫叶莴苣生长和品质的影响[J]. 土壤，2011，43(5)：787-792.
Wang J D, Ma H B, Gao X M *et al*. Effects of different ratios of biogas slurry of water hyacinth (eichhornia crassipes) substitute chemical nitrogen fertilizers on growth and quality of lettuce (L. *sativa*)[J]. Soils, 2011, 43(5): 787-792.

[4] 张鑫，熊彩珍，顾立明. 不同中晚熟水蜜桃品种的品质性状评价[J]. 浙江大学学报，2011，37(5)：551-556.
Zhang X, Xiong C Z, Gu L M. Quality evaluation of different middle and late maturity honey peach cultivars[J]. J. Zhejiang Univ. (Agric. Life Sci.), 2011, 37(5): 551-556.

[5] 李明，王利平. 无锡水蜜桃香气成分的初步分析[J]. 食品与生物技术学报，2007，26(5)：53-56.
Li M, Wang L P. Preliminary analysis of aroma components in peach from Wuxi[J]. J. Food Sci. Biotechnol., 2007, 26(5): 53-56.

[6] 张勇，李晓军，曲健禄，等. 山东桃树流胶病病原菌研究[J]. 果树学报，2010，27(6)：965-968.
Zhang Y, Li X J, Qu J L *et al*. Studies on the pathogen of peach gummosis in Shandong province[J]. J. Fruit Sci., 2010, 27(6): 965-968.

[7] 寇长林，巨晓棠，张福锁. 三种集约化种植体系氮素平衡及其对地下水硝酸盐含量的影响[J]. 应用生态学报，2005，16(4)：660-667.
Kou C L, Ju X T, Zhang F S. Nitrogen balance and its effects on nitrate-N concentration of groundwater in three intensive cropping systems of North China[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(4): 660-667.

[8] 卢树昌，陈清，张福锁，等. 河北省果园氮素投入特点及其土壤氮素负荷分析[J]. 植物营养与肥料学报，2008，14(5)：858-865.
Lu S C, Chen Q, Zhang F S *et al*. Analysis of nitrogen input and soil nitrogen load in orchards of Hebei province[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2008, 14(5): 858-865.

[9] 童斌，杨薇红. 园艺产品营养与品质分析[M]. 陕西咸阳：西北农林科技大学出版社，2006.
Tong B, Yang W H. Quality analysis and nutrition of horticultural products[M]. Xianyang, Shaanxi: Northwest Agriculture and Forestry University Press, 2006.

[10] 李晓彬，汪有科，赵春红，等. 水分调控对梨枣果实品质与投入产出效益的影响分析[J]. 中国生态农业学报，2011，19(4)：818-822.
Li X B, Wang Y K, Zhao C H *et al*, Effect of regulated irrigation on input-output benefits of pear jujube[J]. Chin. J. Eco-Agric., 2011, 19(4): 818-822.

[11] 范玉贞. 不同施肥对深州蜜桃品质及产量的影响[J]. 北方园艺，2011，(5)：49-50.
Fan Y Z. Effect of different fertilization on the quality and yield of deep sate of peach[J]. Northern Hortic., 2011, (5): 49-50.

[12] 范玉贞，李晓颖，谭洪花，等. 果树果实的风味物质及其研究[J]. 植物生理学报，2011，47(10)：943-950.
Fan Y Z, Li X Y, Tan H H *et al*. Flavor compounds in fruits and

research on them[J]. Acta Phytophysiol. Sin., 2011, 47(10): 943-950.

[13] Kilili A W, Behboudian M H, Mills T M. Composition and quality of 'Braeburn' apples under reduced irrigation[J]. Sci. Hortic., 1996, 67: 1-11.

[14] 汪吉东，张永春，戚冰洁，等. 水葫芦沼液配合化肥施用对马铃薯生长及土壤硝态氮残留的影响[J]. 江苏农业学报，2011, 27(6): 1267-1272.
Wang J D, Zhang Y C, Qi B J *et al*. Effect of biogas slurry of water hyacinth combined with chemical nitrogen fertilizers on growth and soil nitrate concentration of potato[J]. Jiangsu J. Agric. Sci., 2011, 27(6): 1267-1272.

[15] Neilsen D, Parchomchuk P, Neilsen G H, Hogue E J. Using soil solution monitoring to determine the effects of irrigation management and fertigation on nitrogen availability in high density apple orchards[J]. J. Amer. Soc. Hortic Sci., 1998, 123(4): 706-713.

[16] Ebel R C. Proebsting E L, Evans R C. Deficit irrigation to control vegetative growth in apple and monitoring fruit growth to schedule irrigation[J]. Hortic. Sci., 1995, 30(6): 1229-1232.

[17] 马福生，康绍忠，王密侠，等. 调亏灌溉对温室梨枣树水分利用效率与枣品质的影响[J]. 农业工程学报，2006, 22(1): 37-43.
Ma F S, Kang S Z, Wang M X *et al*. Effect of regulated deficit irrigation on water use efficiency and fruit quality of pear-jujube tree in greenhouse[J]. Transact. Chin. Soc. Agric. Eng., 2006, 22(1): 37-43.

[18] Ronald W, Crites E, Toe M *et al*. Natural wastewater treatment systems[M]. New York: CRC/Taylor Francis. 2006. 1-19.

[19] 肖强，张夫道，王玉军，等. 纳米材料胶结包膜型缓/控释肥料的特性及对作物氮素利用率与氮素损失的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2008, 14(4): 779-785.
Xiao Q, Zhang F D, Wang Y J *et al*. Effects of slow/controlled release fertilizers felted and coated by nano-materials on nitrogen recovery and loss of crops[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2008, 14(4): 779-785.

[20] 樊军，邵明安，郝明德，等. 渭北旱塬苹果园土壤深层干燥化与硝酸盐累积[J]. 应用生态学报，2004, 15(7): 1213-1216.
Fan J, Shao M A, Hao M D *et al*. Desiccation and nitrate accumulation of apple orchard soil on the Weibei dry land[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(7): 1213-1216.

[21] 王艳萍，高吉喜，刘尚华，等. 有机肥对桃园土壤硝态氮分布的影响[J]. 应用生态学报，2008, 19(7): 1501-1505.
Wang Y P, Gao J X, Liu S H *et al*. Effects of organic manure on the profile distribution of soil nitrate-N in a peach orchard[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2008, 19(7): 1501-1505.