

文章编号: 1003-8701(2015)03-0054-05

长期有机无机肥配施对黑土养分特征的影响

王 莉¹, 高淑青¹, 李梦瑶¹, 曹志远¹, 朱 平^{2*}, 张晋京^{1*}

(1. 吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118; 2. 吉林省农业科学院农业资源与环境研究所, 长春 130033)

摘 要:以吉林省公主岭长期定位试验站为基础,研究不同施肥模式对黑土表层(0~20 cm)及亚表层(20~40 cm)土壤有机质、碱解氮、速效钾、速效磷的影响。结果表明有机无机肥配施可以提高土壤中有机质、碱解氮、速效钾、速效磷的含量,尤其以增量有机无机肥配施处理[1.5(NPKM)],土壤有机质、速效磷、速效钾含量变化最为显著,而常量有机无机肥配施兼轮作模式[NPKM(2)]土壤碱解氮含量最高。休闲处理土壤中养分含量基本保持试验前的水平。秸秆配施无机肥(SNPK),对土壤有机质、碱解氮、速效钾、速效磷含量影响不是很明显。总之,从长期来看,合理的施肥尤以有机无机肥相结合会维持土壤性质和生产能力,更有利于农业可持续发展。

关键词:黑土;长期定位施肥;土壤养分

中图分类号:S155

文献标识码:A

DOI:10.16423/j.cnki.1003-8701.2015.03.014

Effects of Long-Term Different Organic and Inorganic Fertilization on Nutrients of the Black Soil

WANG Li¹, GAO Shu-qing¹, LI Meng-yao¹, CAO Zhi-yuan¹, ZHU Ping^{2*}, ZHANG Jin-jing^{1*}

(1. College of Resource and Environment Science, Jilin Agricultural University, Changchun 130118; 2. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Effect of different fertilization patterns on organic matter, available N, P and K contents of upper and sub-upper soil was studied on Gongzhuling Long-Term Position Experimental Station of Jilin Province. The results showed that soil organic matter, available N, P and K contents increased in organic and inorganic fertilizers mixed treatment, and soil organic matter, available P and K increased significantly in incremental organic and inorganic fertilizer treatment. Soil available N content was the highest in the common organic and inorganic fertilizers and crop rotation patterns treatment. The nutrient contents remained the same level before the test in leisure soil treatment. The soil organic matter, available N, P and K contents did not change obviously in the straw with inorganic fertilizer NPK treatment. In short, rational fertilization will maintain soil properties and production capacity in long term, and this is favorable to sustainable agricultural development, especially applying a combination of organic and inorganic fertilizers.

Key words: Black soil; Long-term fertilization; Soil nutrients

土壤是农业生态系统的重要组成部分。在农业生态系统营养元素循环过程中,土壤扮演着贮存、释放和调节这些营养元素在系统中转化、运行的重要角色。土壤养分库受到成土母质、气候条件、土地利用方式与覆被变化、耕作以及施肥方式等人为和自然诸多因素的影响。施肥方式

是影响土壤养分库的主要因素之一。施肥制度不同,土壤养分含量和供应能力不同,这不仅影响作物产量和品种,而且对土壤的结构性、肥力水平以及可持续生产能力产生重要影响。土壤养分供应能力是评价土壤肥力的重要指标。

本文以吉林省农业科学院“国家黑土肥力与肥料效益长期定位监测基地”为依托,探讨不同施肥措施对农田耕层土壤性质的影响,有利于正确评价农田土壤养分的总体演变趋势,可以为制定合理的农业措施,促进黑土的可持续利用发展提供基础数据。

收稿日期:2014-12-27

基金项目:国家科技支撑计划项目(2013BAD07B02)

作者简介:王 莉(1988-),女,在读硕士,从事土壤化学研究。

通讯作者:朱 平,男,研究员,E-mail: zhuping1962@sohu.com

张晋京,男,教授,E-mail: zhangjinjing@126.com

1 材料与方 法

1.1 长期定位试验站基本情况

试验站位于吉林省公主岭市,东经 124°48′34″、北纬 43°30′23″,海拔 220 m。地势平坦,年均气温 4~5℃,年最高温度 34℃,最低温度-35℃,无霜期 125~140 d,有效积温 2600~2700℃·d,年降

水量 450~600 mm,年蒸发量 1 200~1 600 mm,年日照时数 2500~2700 h。成土母质为第四纪黄土状沉积物,为典型中层黑土土类,黑土开垦较晚,自然肥力较高。作物种植制度为春玉米一年一熟连作,无灌溉的雨养农业。定位试验正式开始于 1990 年春季,基础肥力见表 1。

表 1 试验开始前黑土基本理化性质

有机质 (g·kg ⁻¹)	全氮 (g·kg ⁻¹)	全磷 (g·kg ⁻¹)	全钾 (g·kg ⁻¹)	碱解氮 (mg·kg ⁻¹)	速效磷 (mg·kg ⁻¹)	速效钾 (mg·kg ⁻¹)	pH
23.3	1.4	0.61	18	114.0	11.8	158.3	7.6

1.2 试验设计

试验处理包括:①休闲(不施肥不种植、不耕作);②NPKM(有机肥 30 m³·hm⁻²+NPK(常量));③1.5NPKM(处理②用量的 1.5 倍);④NPKS(秸秆 7500 kg·hm⁻²+NPK(常量));⑤轮作 2(NPKM(2)),肥料用量与处理②相同,采取玉米-大豆轮作 2 年玉米,1 年大豆;其余试验区为一年一熟,玉米连作)。⑥NPKM₂(有机肥 60 m³·hm⁻²+NPK(常量))。

小区面积 400 m²。每公顷施 N 165 kg, P₂O₅ 82.5 kg, K₂O 75 kg, 这些为 NPK(常量)的施肥量。有机肥(及秸秆)和无机肥配合的施氮量与化肥小区的相同,有机氮与无机氮比例为 7:3。秸秆每公顷 7500 kg, N 不足量以无机 N 补充。有机肥作底肥,秸秆粉碎后于 7 月中旬追肥后撒垄沟中, P、K 和 1/3 N 作基肥随播种同时施入,其余 2/3 N 于拔节期前追施入表土 10 cm 处。氮肥用尿素和磷酸二铵,磷肥用过磷酸钙,钾肥用氯化钾或硫酸钾,有机肥采用猪粪。

1.3 样品采集与分析

土壤样品采集于 2009 年秋季作物成熟收获时,按 0~20 cm、20~40 cm 土层,用取土钻于每个试验小区至少取 5 个以上样点混合,剔除杂质,风干,过 1 mm 和 0.25 mm 筛,备用。

土壤有机质采用重铬酸钾容量法(外加热法);土壤碱解氮采用碱解扩散法;土壤速效磷采用 NaHCO₃浸提,钼锑抗比色法;土壤速效钾采用 NH₄OAc 浸提,火焰光度法。

1.4 数据处理及统计检验

试验结果采用 EXCEL 软件及 DPS7.05 软件进行分析,采用 LSD 多重比较法进行处理间差异显著性分析(p≤0.05)。

2 结果与分 析

2.1 长期不同施肥对黑土有机质含量的影响

黑土原始土壤有机质含量为 23.3 g/kg(表 1),经过 24 年长期定位试验,不同施肥处理土壤有机质的含量如图 1,由图 1 可以看出,长期不同施肥对土壤有机质含量有显著影响(P≤0.05)。0~20 cm 土层,经过 NPKM、NPKM₂、1.5(NPKM)、NPKM(2)不同施肥处理,土壤有机质含量分别增加了 29.5%、26.1%、40.3%、20.0%;相应与休闲地土壤有机质含量分别增加了 17.2%、13.3%、29.9%、6.1%,尤其 1.5(NPKM)处理,有机质比原始土壤增加了 15.72 g/kg。

有机无机肥增量 1.5(NPKM)与无机肥常量有机肥增量(NPKM₂)配施对土壤有机质含量影响显著,说明有机无机肥配施比例及其用量,可以影响土壤有机质含量。国内外大量研究表明,长期施用化肥或有机肥均能提高土壤有机质含量,尤以施用有机肥或有机无机肥配施的效果显著^[1-7]。在有机无机肥配施的同时采用大豆玉米轮作方式更有利于平衡和保持土壤有机碳库, Manna 的研究有相同结论^[8]。

不施肥、不耕作休闲处理较原始土壤有机质含量也相应增加,免耕耕作有利于土壤有机碳的积累,主要原因可能是减少了对耕作层的扰动,有利于土壤有机质的积累^[9-10]。本试验中加入休闲处理,其目的在于探索黑土地区农田基本处于自然生态条件下,土壤肥力的长期积累究竟可达何种状况,同时,拟以此为基础,探讨土壤管理对土壤肥力的影响。

秸秆配施化肥没有像有机肥那样明显对土壤有机质含量的影响。由于有机质容易受到土壤类

型、环境、生物量以及温度等因素的影响,而且秸秆种类和碳氮比不同,致使秸秆还田对有机质影响的各种研究报道结果不一^[11-12]。Nardi等^[13]资料

表明,农作物秸秆添加不能长期有效地维持土壤表层有机碳水平。

亚表层(20~40 cm)土壤有机质含量,在不同

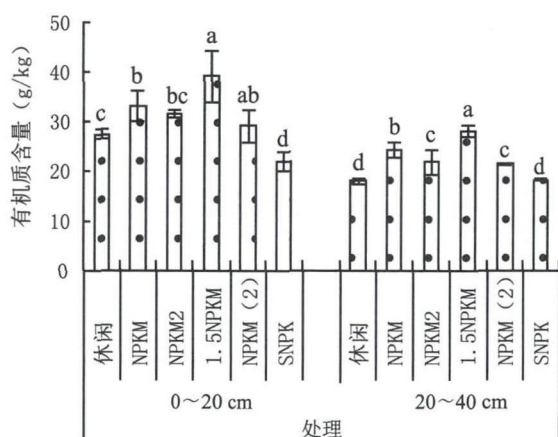


图1 长期施肥对黑土有机质含量的影响

施肥处理下也有明显差异,随着土壤深度的增加,有机质含量降低,这是由于表层土壤接受植物凋落物、根茬和有机肥,有机碳来源丰富,有机碳投入量大于有机碳的分解损失量,而亚表层土壤有机碳的投入量少,仅为一些植物细根、根系分泌物和部分从土壤表层淋溶下来的有机碳,这些来源的有机碳随着土层的加深数量减少,在土壤剖面中的移动性弱。说明不同施肥不仅影响表层土壤有机质含量也会影响深层土壤有机质含量。骆坤等研究说明长期不同施肥对表层土壤有机碳含量具有显著影响,而亚表层土壤对各施肥处理的响应不显著^[14]。也有研究表明长期施肥在改变土壤有机质含量的同时,也使有机质在剖面中的分布发生变化。有机肥或氮磷钾化肥对土壤有机质的影响深达100 cm,但60 cm以上土层变化明显^[15]。连续施用有机肥也能增加垆土层土壤有机质含量,这可能与垆土中有少量蚯蚓等小动物,对土壤有机物质上下层搬运有关^[16]。

2.2 长期不同施肥对黑土碱解氮含量的影响

农田土壤普遍缺氮,氮是农业生产中最重要的养分限制因子。经过长期不同施肥处理,土壤碱解氮含量变化如图2所示。0~20 cm土层碱解氮含量变化趋势为1.5(NPKM)>NPKM₂>NPKM(2)>NPKM>NPKS>休闲。

休闲地土壤碱解氮含量没有明显的变化基本维持在试验前的水平。说明在自然生长状况下土壤中碱解氮可以保持植被所需,维持氮的平衡。不同处理有机无机肥配施(NPKM、NPKM₂、NPKM(2))可以不同程度地增加土壤碱解氮含量,与原

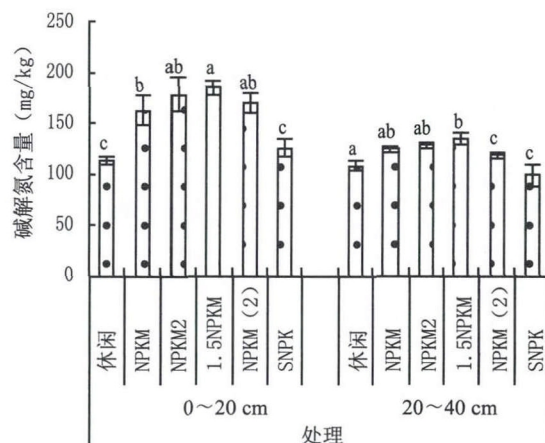


图2 长期施肥对黑土碱解氮含量的影响

始土壤碱解氮含量相比最高可达34.46%。这是由于均衡施肥可增加根茬、根系和根分泌物的产量,亦即增加了归还的有机氮量,这部分氮比土壤中有有机氮易矿化。

在无机肥NPK用量相同情况下配施不同量有机肥,以及采用轮作方式(NPKM、NPKM₂、NPKM(2))不同处理对土壤碱解氮含量影响不显著,而以增量无机有机肥(1.5(NPKM))混施对土壤碱解氮含量影响最大。骆坤^[14]等研究表明,有机无机配施不仅会引起土壤矿质氮储量的大幅度增加,而且显著提高了可溶性氮在土壤全氮中的比例,可能会引起潜在的环境污染,因此,在推行大量施用有机肥维持和提升土壤肥力的同时,氮的淋失风险应该引起重视。

秸秆与无机肥配施也可以提高土壤中碱解氮含量,秸秆中氮素资源丰富,连续施用秸秆可减少氮肥施用量,提高水肥利用效率,增加培肥效果^[17-18]。强学彩等^[19]资料显示,玉米秸秆还田增加土壤无机氮累积量、碳素固持和矿化率及微生物氮循环。实行秸秆还田措施,提高氮素供应率,显著减少了氮肥施加量和氮素损失量,可部分解决农业生态系统中氮肥引发的污染问题^[20-21]。

20~40 cm土层土壤碱解氮含量变化趋势如图2,1.5(NPKM)>NPKM₂>NPKM>NPKM(2)>休闲>NPKS。说明不同施肥处理对土壤亚表层碱解氮含量也有显著影响。有机无机配施比无机NPK和秸秆配施对土壤碱解氮含量影响大。而秸秆还田降低了土壤碱解氮含量且低于休闲地含量。可能是由于秸秆还田改善土壤空隙水气热条件,使

土壤氮矿化率加大,从而减少碱解氮含量。秸秆碳氮比较高,添加到土壤中,微生物先吸收土壤原有无机氮维持适宜的碳氮比值,而减少土壤无机氮含量^[22-23]。

2.3 长期施肥对黑土速效钾的影响

随着我国农业生产水平的不断提高和高产品种的推广,加之土壤钾有效补充方式之一的有机肥施用量逐年下降,土壤缺钾面积逐渐扩大。在许多地区,土壤缺钾已成为限制农业发展的主要因素之一,而我国又是一个钾肥资源短缺的国家。因此,土壤钾素化学研究显得尤为重要。经过长期施肥,土壤速效钾含量的变化趋势如图3所示,0~20 cm土层,速效钾含量变化趋势为NPKM(2)>NPKM₂>1.5(NPKM)>NPKM>休闲>NPKS。说明不同处理对土壤速效钾含量的影响有显著差异。与休闲处理相比,秸秆与无机肥配施处理土壤速效钾含量下降了16.51%。这与土壤有机质变化一样,可能与秸秆还田降低了土壤有机质的含量,而土壤中速效钾的固定与土壤有

机质含量及阳离子交换量有密切联系。所以速效钾含量也相应降低。张夫道等^[24]的研究表明,通过12年长期定位施肥,土壤阳离子交换量(CEC)与土壤有机质含量和粘粒含量存在高度的相关性^[27,32]。其他不同施肥处理,土壤速效钾含量都有不同程度的增加,尤其以有机无机配施兼轮作处理,土壤速效钾含量增加最高,达47.21mg/kg。Shaimukhametov等^[25-27]的研究表明,长期定位施肥(63年)及轮作会影响俄罗斯典型的Serozem土壤钾素的固定量,其中NPK处理和有机肥处理的土壤钾素固定量小于不施肥处理,轮作处理的土壤钾素固定量最高,且高于不施肥处理。NPK与有机肥处理土壤钾含量低于不施肥处理与本文研究结果不同,轮作处理土壤钾固定量最高与本文研究结果一样。

20~40 cm土层土壤速效钾含量,都相对应低于0~20 cm土层不同处理。且各个处理间不像0~20 cm土层影响明显,以1.5(NPKM)处理土壤中速效钾含量最高。

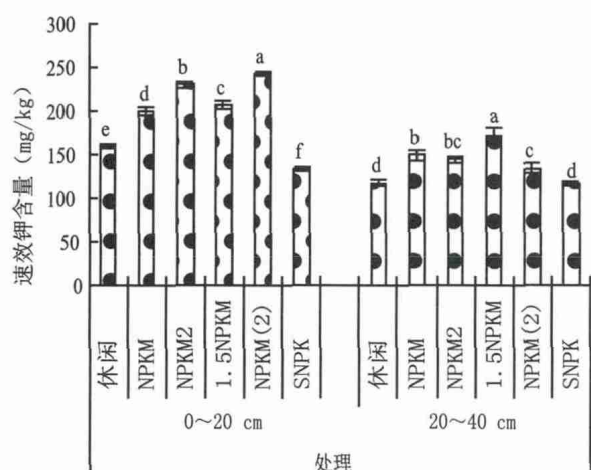


图3 长期施肥对黑土速效钾含量的影响

2.4 长期施肥对土壤速效磷含量的影响

土壤有效磷是衡量土壤肥力的重要指标,了解土壤有效磷的供应状况,对合理施用磷肥有直接的指导意义。经过长期施肥处理土壤速效磷含量变化趋势如图4所示。

0~20 cm土层,1.5(NPKM)>NPKM₂>NPKM(2)>NPKM>休闲>NPKS。说明有机无机配施肥量增加,土壤速效磷含量也增加,可能是有机肥本身含有一定的磷,且这部分磷易于分解释放,有机肥施入土壤后,可增加土壤有机质含量,而有机质腐解过程中产生有机酸等物质,可减少

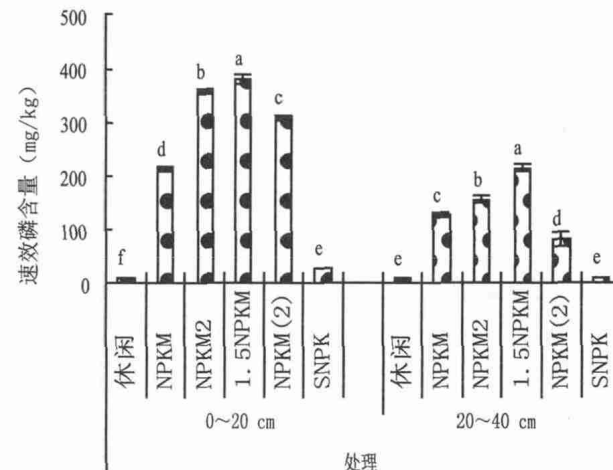


图4 长期施肥对黑土速效磷含量的影响

无机磷的固定,并促进无机磷的溶解^[28-30]。休闲处理土壤速效磷含量与试验前保持平衡。秸秆与无机肥配施,也可以提高土壤速效磷的含量,但是没有有机无机肥配施效果明显。主要原因是秸秆中含磷量较低,影响土壤有效磷含量主要与有机肥化肥施用量有关^[31]。

20~40 cm土层土壤速效磷含量变化趋势为1.5(NPKM)>NPKM₂>NPKM>NPKM(2)>NPKS>休闲。各处理间差异显著,与0~20cm土层一样,也是1.5(NPKM)处理土壤速效磷含量最高,不同的是轮作NPKM(2)处理比NPKM处理土壤速效磷

的含量低,说明轮作可以使速效磷表层聚积,使深层土壤速效磷含量降低。通常而言,长期施用化肥和有机肥都能不同程度地提高土壤全磷、有效磷、无机磷及有机磷的含量,当化肥与有机肥配施时,作用更为明显^[28, 32]。

3 结 论

长期不同有机无机肥配施处理,0~20 cm 土层土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量总高于20~40 cm 的土层。

长期不施肥不耕作休闲处理0~20 cm 土层土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量与试验前土壤养分含量基本保持平衡。

长期不同有机无机肥配施处理,可以增加土壤养分含量,尤其以1.5(NPKM)处理,土壤有机质、速效钾、速效磷的含量是最高的,说明增量的有机无机肥配施可以提高其有机质、速效钾、速效磷含量,可能是有机肥本身所含的含量就高;而以NPKM(2)处理土壤碱解氮含量最高,说明轮作可以增加土壤碱解氮含量,在耕作时合理轮作也可以提高土壤中碱解氮的含量。

秸秆配施无机肥时,与试验前土壤养分水平相比,试验后土壤有机质、速效钾含量降低,而碱解氮、速效磷含量提高。

参考文献:

- [1] 劳秀荣,孙伟红,王 真,等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报,2003,40(4):618-623.
- [2] 李贵华. 不同施肥条件下灰漠地肥力的变异与肥效的研究[J]. 土壤肥料,1994(5):1-5.
- [3] 杨 靖. 洛桑试验站150周年-经典试验的研究进展[J]. 土壤学进展,1995,23(1):9-12.
- [4] 陈琼贤,刘国坚,段炳源,等. 有机无机肥料对土壤肥力和作物产量的影响研究[J]. 热带亚热带土壤科学学报,1996,5(1):7-13.
- [5] 姚源喜,杨延蕃,刘树堂,等. 长期定位施肥对作物产量和土壤肥力的影响[J]. 莱阳农学院学报,1991,8(4):245-251.
- [6] Govi M, Francioso O, Ciavatta C, et al. Influence of long-term residue and fertilizer applications on soil humic substances: A study by electro focusing[J]. Soil Sci, 2012, 154(1): 8-13.
- [7] Sommerfeldt T G, Chang C, Entz T. Long-term annual applications increase soil organic matter and nitrogen and decrease carbon to nitrogen ratio[J]. Soil Sci Soc Amer J, 2008, 52(6): 1668-1672.
- [8] Manna M C, Swarup A, Wanjar R, et al. Long-term fertilization, manure and liming effects on soil organic matter and crop yields[J]. Soil & Tillage Research, 2007(94): 397-409.
- [9] 戴志刚,鲁剑巍,周先竹,等. 不同耕作模式下秸秆还田对土壤理化性质的影响[J]. 中国农技推广,2012,28(3):46-49.
- [10] 高亚军,黄东迈,朱培立,等. 稻麦轮作条件下长期不同土壤管理对氮素肥力的影响[J]. 土壤学报,2000,37(4):456-463.
- [11] 武天云, Schoenau J J, 李凤民,等. 土壤有机质概念和分组技术研究进展[J]. 应用生态学报,2004,15(4):717-722.
- [12] 张 鹏,李 涵,贾志宽,等. 秸秆还田对宁南旱区土壤有机碳含量及土壤碳矿化的影响[J]. 农业环境科学学报,2011,30(12):2518-2525.
- [13] Nardi S, Morari F, Berti A, et al. Soil organic matter properties after 40 years of different use of organic and mineral fertilisers [J]. European Journal of Agronomy, 2004, 21(3): 357-367.
- [14] 骆 坤,胡荣桂,张文菊,等. 黑土有机碳、氮及其活性对长期施肥的响应[J]. 环境科学,2013,34(2):676-684.
- [15] Douglas L Karlen, Cynthia A Cambardella, John L Kovar, et al. Soil quality response to long-term tillage and crop rotation practices Original Research Article[J]. Soil and Tillage Research, 2013(133): 54-64.
- [16] 周建斌,李昌伟,赵伯善,等. 长期施肥对壤土底土养分含量的影响[J]. 土壤通报,1993,24(1):21-23.
- [17] 赵其国,钱海燕. 低碳经济与农业发展思考[J]. 生态环境,2009,18(5):1609-1614.
- [18] 闫翠萍,裴雪霞,王姣爱,等. 秸秆还田与施氮对冬小麦生长发育及水肥利用率的影响[J]. 中国生态农业学报,2011,19(2):271-275.
- [19] 强学彩. 秸秆还田量的农田生态效应研究[D]. 北京:中国农业大学,2003.
- [20] Watanabe T, Man L H, Vien D M, et al. Effects of continuous rice straw compost application on rice yield and soil properties in the Mekong Delta[J]. Soil Science and Plant Nutrition,2009,55(6):754-763.
- [21] Rebecca Ryals, Michael Kaiser, Margaret S Torn, Asmeret Asefaw Berhe, Whendee L. Silver. Impacts of organic matter amendments on carbon and nitrogen dynamics in grassland soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2014,68(1): 52-61.
- [22] 林心雄,程励励,施书莲,等. 绿萍的增产和改土作用[J]. 土壤学报,1978,15(1):54-60.
- [23] Breland T A. Enhanced mineralization and denitrification as a result of heterogeneous distribution of clover residues in soil[J]. Plant and Soil, 1994, 166(1): 1-12.
- [24] 张夫道,张淑香,赵秉强,等. 不同土壤不同种植制度下土壤肥力与肥料效益演变研究[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(增刊):9-15.
- [25] Shaimukhametov M S H, Mamadaliev G N. The effect of long-term fertilization on the potassium status and mineralogy of clay particles in typical Serozem[J]. Eurasian Soil Sci, 2003, 36(9): 994-1002.
- [26] Manrique L A, Jones C A, Dyke P T. Predicting cation exchange capacity from soil physical and chemical properties[J]. Soil Sci Soc Am J, 1991(55): 787-794.

(下转第91页)

表4 叶面肥对果实形状的影响

品种	穗重(g)		单粒重(g)		果粒纵径(mm)		果粒横径(mm)	
	处理	CK	处理	CK	处理	CK	处理	CK
无核白鸡心	886.90	775.15	6.37	5.33	32.2	30.0	19.0	18.0
白香蕉	430.40	399.37	7.64	6.57	31.2	28.0	21.5	21.3
着色香	183.30	142.67	3.00	2.83	21.7	21.2	16.5	15.0

表5 叶面肥对果实可溶性固形物含量的影响

品种	可溶性固形物含量(%)	
	处理	CK
无核白鸡心	14.00	13.23
白香蕉	21.80	21.00
着色香	19.25	18.00

3 讨论和小结

设施栽培在一定空间内改变了植物的生长环境,从而影响树体的生长发育,其栽培方式、管理技术等与露地栽培也有较大差别。设施内弱光直接影响叶片光合效率、营养生长和生殖生长的协调统一,从而影响枝条成熟、花芽分化、果实的发育等^[3]。

果树叶面施肥对树体生长、果实发育有一定影响。关于叶面肥功能效果的试验,在葡萄^[4]、苹果^[5]、李^[6]、板栗^[7]、黑穗醋栗^[8]等多种果树上均有报道,且均主要从果实经济性状和产量方面进行了试验报道,结合叶片光合性能的研究报道较少。李敏^[5]等在红富士苹果上应用氨基酸硒叶面肥,表明叶面肥提高了叶片的比叶重、净光合速率、果实的可溶性糖含量和维生素C含量,但对单果重、果实硬度、可滴定酸含量等没有显著影响。王海波等^[4]以酿造葡萄品种威代尔为试材进行喷

施氨基酸硒叶面肥试验,表明叶面肥可改善叶片质量,提高叶片叶绿素a、叶绿素b和叶绿素总含量,提高叶片净光合速率,延缓叶片衰老;提高枝条成熟度,增强植株越冬能力;明显改善葡萄品质。

本研究结果表明,设施内不同鲜食葡萄品种喷施叶面肥后,均不同程度促进了叶片内叶绿素相对含量的提高,增加了叶片干物质质量和比叶重,促进了果实发育和果实品质的提高。

参考文献:

[1] 张建成,刘 和,张晓伟.果树的设施栽培[J].河北果树,2005(4):1-3.

[2] 谭一波,赵仲辉.叶面积指数的主要测定方法[J].林业调查研究,2008,33(3):45-48.

[3] 代晓慧,李龙平.设施果树栽培原理及其关键技术[J].现代农业科技,2009(16):212-213.

[4] 王海波,王孝娣,姚秀业,等.葡萄喷施氨基酸硒叶面肥试验[J].中国果树,2011(5):28-30.

[5] 李 敏,厉恩茂,李 壮,等.氨基酸硒叶面肥在红富士苹果上的应用试验[J].中国果树,2013(4):31-33.

[6] 高佳缘.新型叶面肥在李树上的应用效果[J].黑龙江农业科学,2013(3):31-33.

[7] 黄亚丽,王庆江,郭云龙,等.喷施5种叶面肥对板栗产量和品质的影响[J].经济林研究,2013,31(3):143-145.

[8] 王雪娇.叶面肥对蓝果忍冬和黑穗醋栗生长发育及果实品质的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2013.

(上接第58页)

[27] Thompson M L, Zhang L H, Kazemi M, et al. Contribution of organic matter to cation exchange capacity and specific surface area of fractionated soil materials[J]. Soil Sci, 1989(148): 250-257.

[28] 刘杏兰,高 宗,刘存寿,等.有机-无机肥配施的增产效应及对土壤肥力影响的定位研究[J].土壤学报,1996,33(2):138-147.

[29] 周广业,阎龙翔.长期施用不同肥料对土壤磷素形态转化的影响[J].土壤学报,1993,30(4):443-446.

[30] 郑铁军.黑土长期施肥对土壤磷的影响[J].土壤肥料,1998(1):39-41.

[31] 戴志刚,鲁剑巍,周先竹,等.不同耕作模式下秸秆还田对土壤理化性质的影响[J].中国农技推广,2012,28(3):46-49.

[32] R J Dodd, R W McDowell, L M Condron. Manipulation of fertiliser regimes in phosphorus enriched soils can reduce phosphorus loss to leachate through an increase in pasture and microbial biomass production Original Research Article[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2014, 185(3): 65-76.