

宁夏引黄灌区果树设施栽培土壤肥力特征及空间变异

孙 权, 张亚红, 李建设, 于 晶, 张学英

(宁夏大学 农学院 宁夏 银川 750021)

摘 要: 调查研究了宁夏果树设施栽培土壤的物理和化学性状, 并用传统统计方法分析了不同肥力因子的变异特征。结果表明: 设施果树栽培土壤的容重增大 10% 以上, 总孔隙度小于正常水平; 灌淤土养分状况良好, 有机质及速效氮、磷、钾含量均较高, 尤其是速效磷在土壤中的积累较多; 6 个主要肥力指标的变异系数大小顺序为: 碱解氮 > 速效磷 > 速效钾 > 全盐 > 有机质 > pH 值; 为了增强测土配方施肥的精确性, 土壤 pH 值、有机质、全盐和速效钾的采样数量可适当减少, 而速效氮、磷的采样数量应增加。

关键词: 设施果树; 土壤肥力; 变异系数

中图分类号: S 628 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2009)12-0146-04

高效农业是农业发展永恒的主题, 而农业的工厂化是实现高效农业的保障。我国农业产业化结构的调整, 为果树设施栽培提供了良好的发展机遇。利用设施和高新技术来创造适宜果树生长的小气候环境, 使用系统规范化的栽培技术, 实现鲜食水果的反季节生产, 为鲜果周年供应提供了保证, 既实现产品的高效益, 又弥补露地品种由于储藏带来的高成本、低品质的不足, 充分体现了设施农业的优势^[1-2]。

不过, 果树设施栽培环境与露地耕作环境存在明显差异, 设施内果树的生育特点、土壤管理与施肥技术等有较大变化。由于设施栽培的复种指数高, 果树的生物产量和经济产量高, 地力消耗大, 因此测土施肥成为设施果树优质高产的关键措施之一。土壤养分的测试是测土配方施肥的基础。只有快速、准确地测定出土壤养分的含量, 才能进行正确的施肥指导。而土壤养分的空间变异给测土配方施肥的准确性带来了一定的难度。田间实际情况表明, 在同一类型土壤中, 田间土壤特性表现出明显的差异性, 在土壤质地相同的区域内, 土壤特性在各个空间位置上的量值并不相等。对于这种差异性, 多采用 Fisher 所创立的传统统计方法来进行分析。其统计方法是按质地将土壤在平面上划分为若干较为均一的区域, 在深度上划分为不同土层, 通过计算样本的均值、标准差、方差、变异系数以及进行显著性检验来描述土壤特性的空间变异。许多研究者用变异系

数等来描述土壤特性的空间变异^[3]。

目前, 我国果树设施栽培主要还是直接应用露地栽培的系统技术, 仍然存在着较大的随意性和盲目性, 而生产中对测土配方施肥的需求非常迫切。因此, 研究果树设施栽培土壤肥力水平及其变异特征, 探讨相应的管理技术措施, 对于指导果树设施栽培, 促进果品产量、质量和效益的提高, 具有重要实践意义。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

永宁县位于宁夏回族自治区中部, 属引黄灌区, 是银川市郊区县, 县域自然条件优越, 农业种植发达, 是全国著名商品粮基地县。永宁县位于东经 $105^{\circ}49'$ ~ $106^{\circ}22'$, 北纬 $38^{\circ}38'$ ~ $38^{\circ}26'$, 县域面积 847.3 km^2 。年均气温 8.9°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年有效积温 $3\ 240^{\circ}\text{C}$, 无霜期 $150 \sim 170 \text{ d}$, 年均日照时数达 $2\ 897.5 \text{ h}$, 年均降水量 202.2 mm , 年均蒸发量高达 $1\ 787.3 \text{ mm}$ 。永宁县的气候特点是干旱少雨, 蒸发强烈, 光照充足, 热量丰富, 无霜期较短, 昼夜温差大, 秋凉早; 永宁县全县宜果土地充裕, 排灌畅通, 自然条件适宜设施果树发展。近年来, 按照“立足本地, 突出特色, 发挥优势, 形成规模, 形成产业”的发展思路, 大力推广设施果业, 使永宁果业得到较快发展。目前, 建成百栋以上连片集中、管理较规范的设施果树生产基地 15 个, 设施果树栽培面积达 466.67 hm^2 , 产量 0.6 万 t。涌现了一批从事设施果树生产的专业村、专业队、专业户, 栽培规模不断扩大, 逐步形成行业协会引领型、能人带动型、大户承包型、销售企业合作型和农民自发联合型等不同模式的果树设施栽培基地^[4]。以设施果业为主的 $1\ 467 \text{ hm}^2$ 设施园艺已逐步成为县域经济发展的优势特色产业。特别是董洋果业、天天鲜、小任果业等区内知名流通企业建立基地, 加速了设施果

第一作者简介: 孙权(1965-), 男, 博士, 教授, 现从事干旱区农业资源特征及可持续利用教学与科研工作。

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2007BAD57B05)。

收稿日期: 2009-06-20

树科技示范园区的形成。

试验区位于永宁县关桥乡小任果业设施果树基地,东经 106°15'32〃,北纬 38°20'187〃,海拔 1 118 m。土壤为经 2 000 多年灌溉耕种逐渐形成的肥沃的人为土壤——灌淤土。试验区土层深厚,栽培果树前土壤理化性质均一,肥力程度较高,具有灌淤土的典型肥力特征,能够代表宁夏引黄灌区高产土壤的肥力水平。

1.2 研究方法

该研究利用了 GPS 系统进行定位监测,在此基础上,结合剖面调查方法,结合室内测试,分析设施果树栽培土壤的肥力特征演变规律。选择设施葡萄、油桃和设施李子各一棚,每棚 5 个样点,每个样点 5 点法多样混合,取 0~20 cm 和 20~40 cm 层样,分别测定土壤水分物理性质和基本化学性质与肥力因子。其中,土壤容重采用环刀

法,土壤饱和含水量与田间持水量采用室内威尔科克斯(wilcox)法测定,计算土壤的总孔隙度;土壤基本化学性质选择与作物生长发育直接相关的 pH 值、全盐、有机质、速效氮、磷、钾等作为评价土壤肥力状况的基本要素。全盐采用水提取电导法,pH 值用酸度计,有机质用重铬酸钾硫酸法,全氮用蒸馏法,速效氮用碱解扩散法,全磷和速效磷用钼锑抗比色法,速效钾用火焰光度法⁵⁻⁹。

2 结果与分析

2.1 果树设施栽培土壤的物理性质

土壤自身对水、肥、气、热等肥力因素的调节是获取作物高产的前提。目前,宁夏自治区设施的建设大部分采用机械化作业,机械作业强度的差异对土壤的主要物理性状如结构、质地、孔性等都必然产生不同影响,其影响程度见表 1。

表 1	设施果树栽培土壤水分物理性质							
	容重	孔隙度	饱和水	田间持水量	容重	孔隙度	饱和水	田间持水量
	/g·cm ⁻³	/%	/%	/%	/g·cm ⁻³	/%	/%	/%
	0~20 cm				20~40 cm			
农田	1.25	52.68	35.32	22.51	1.56	41.15	26.12	19.75
小任果业(葡萄)	1.44	45.72	29.46	21.66	1.35	48.98	34.34	22.86
小任果业(李子)	1.48	44.28	28.87	20.63	1.37	48.38	33.49	27.64
小任果业(油桃)	1.28	51.86	38.42	25.23	1.50	43.38	29.25	23.49
平均	1.40	47.29	32.25	22.51	1.41	46.91	32.36	24.66

2.1.1 土壤容重 由于机器打墙的高强度反复碾压,最终导致设施内土壤被压实,土壤孔隙减少,直接表现为表层土壤容重增大。与当地农田相比,机械打墙使得表层土壤容重增大 0.2 g/cm³,增加 16%;而深达 3 m 左右的机械挖掘过程使得耕作层以下土壤的容重降低 0.15 g/cm³。研究表明,土壤容重达到 1.40 g/cm³,已经成为根系生长的限制值,容重超过 1.60 g/cm³,植物几乎不能成活。一般来说,当容重达 1.50 g/cm³时,植物根系已难伸入,而达到 1.60~1.70 g/cm³,已是根系穿插的临界点^[7]。表 1 反映出,设施果树栽培土壤的紧实度已经达到根系伸展的极限值,平均容重超过 1.40 g/cm³时,超过植物生长发育所需要的理想值,成为限制果树生长发育的主要因子之一。

2.1.2 土壤孔隙度 土壤之所以具有供给作物生长所需的水分和养分的能力,其原因之一是土壤的多孔性质作为作物生长创造了必要条件。一般而言,适合于作物生长发育的土壤孔隙指标为:0~15 cm 的总孔隙度为 55%左右,通气孔隙度为 15%~20%;15~30 cm 孔度为 50%左右,通气孔度为 10%。土壤的总孔隙度低于 40%就会严重限制通气性和根系的生长。从表 1 看出,由于土壤容重增大,孔隙性随之变差,调查区土壤总孔隙度平均为 47%,小于正常水平,说明土壤紧实,土壤水分入渗能力下降,使土壤蓄水、保水和供水的能力变差,也不利于设施果树根系生长。

2.1.3 土壤持水性能 土壤总孔隙度和大小孔隙比例和分配是影响水分渗透的关键因素,调查区表层土壤容重增大,总孔隙度降低,大小孔隙比例失调,饱和含水量下降 3%,而田间持水量与农田持平,说明机械压结过程并未明显改变土壤结构,特别是毛细管孔隙未受破坏。

2.2 果树设施栽培土壤的化学性质

2.2.1 土壤 pH 值 试验区地处半干旱气候环境,黄河冲击母质基础上形成的灌淤土,具有黄土的典型特征而呈碱性。果树设施栽培土壤 pH 值介于 8.46~8.80 之间,不同棚间变异很小;与未施肥的新棚比较,大量施肥一季后,土壤 pH 值有降低趋势,且施肥使得土壤 pH 值极差、方差、标准差及变异系数全部增大(表 2)。碱性土壤 pH 值的下降有利于提高金属离子和部分微量元素的有效性,也有利于有机质的矿化。

表 2 设施果树栽培土壤 pH 值的变异特征

	层次	均值	极差	方差	标准差	变异系数%	95%置信区间
棚间	0~20	8.64	0.219	0.0078	0.0881	1.02	8.55~8.72
	20~40	8.62	0.242	0.0069	0.0314	0.96	8.55~8.70
棚内未施肥	0~20	8.64	0.133	0.0032	0.0232	0.66	8.58~8.70
	20~40	8.80	0.438	0.0286	0.1693	1.92	8.62~8.98
棚内施肥	0~20	8.51	0.526	0.0357	0.1890	2.22	8.27~8.74
	20~40	8.46	0.871	0.1192	0.3456	4.08	8.10~8.82

2.2.2 土壤全盐 表 3 反映出,设施果树施肥后土壤全盐有增加趋势,表层含盐量大于次表层,但达不到显著水平。但与 pH 值相比,棚内不同样点及不同棚之间土

壤全盐变异增大到 20%左右,表明生产中施肥很难均一。一般露地栽培土壤溶液浓度约 0.3 g/L 左右,而在设施栽培条件下,化肥的大量施用,以及干旱气候环境下土面蒸发强烈,土壤溶液浓度则可高达 7~8 g/L。土体内水分沿着毛细管向上运动,水分蒸发后,盐分残积在土表,易产生积盐现象。

表 3 设施果树栽培土壤全盐的变异特征

	层次	均值	极差	方差	标准差	变异系数%	95%置信区间
棚间	0~20	0.71	0.430	0.0233	0.1528	21.56	0.57~0.85
	20~40	0.65	0.400	0.0159	0.1529	19.29	0.54~0.77
棚内未施肥	0~20	0.59	0.304	0.0159	0.1259	21.31	0.46~0.72
	20~40	0.59	0.340	0.0140	0.1184	20.03	0.47~0.72
棚内施肥	0~20	0.78	0.192	0.0064	0.0800	10.33	0.68~0.87
	20~40	0.68	0.337	0.0201	0.1417	20.88	0.53~0.83

2.2.3 土壤有机质 调查区土壤有机质表层高于次表层,反映出建设大棚前农田土壤有机肥即根系补充的表聚现象(表 4)。果树设施栽培注重施用有机肥,设施土壤表土有机质含量有增加的趋势。但调查区设施果树有机肥施用沿袭传统果树栽培习惯,即定植当年先少量施用有机肥,之后根据生长的需要逐步扩坑补充,与未施肥大棚相比,定植 1 a 棚有机质增加数量尚未达到显著水平。另外,棚内多施用未腐熟的粪肥或秸秆,可能导致大量的有害菌侵入土体对土壤微生物造成一定的影响,也可能引起加重病虫害发生。

表 4 设施果树栽培土壤有机质的变异特征

	层次	均值	极差	方差	标准差	变异系数%	95%置信区间
棚间	0~20	16.44	9.70	12.8431	3.5837	21.80	13.44~19.43
	20~40	14.60	4.10	1.8635	1.3651	9.53	13.34~15.86
棚内未施肥	0~20	17.02	5.931	4.5761	2.1392	12.57	14.77~19.26
	20~40	14.34	5.255	5.8701	2.4228	16.90	11.79~16.88
棚内施肥	0~20	18.87	3.817	2.2954	1.5150	8.03	16.99~20.75
	20~40	13.03	9.423	11.2734	3.3576	25.77	9.50~16.55

2.2.4 土壤碱解氮 供试土壤碱解氮含量耕层高出次表层 37%(表 5)。设施果树定植施肥后,土壤碱解氮极显著增加,尤其以表层增加最为明显,说明设施果树施肥深度不够 40 cm。设施果树施肥后,棚内和棚间碱解氮的变异系数也极显著增加,表明施肥不均一,易造成局部肥料浪费或局部因养分不足而制约生长。

表 5 设施果树栽培土壤碱解氮的变异特征

	层次	均值	极差	方差	标准差	变异系数%	95%置信区间
棚间	0~20	64.93	149.45	2485.31	49.85	76.78	18.83~111.04
	20~40	46.00	46.67	230.95	15.19	33.04	31.94~60.06
棚内未施肥	0~20	74.78	71.20	645.18	25.40	33.97	48.13~101.44
	20~40	54.35	68.0	664.97	25.78	47.45	27.29~81.41
棚内施肥	0~20	172.20	336.0	15142.96	123.05	71.46	43.06~301.34
	20~40	48.17	28.0	134.86	11.61	24.11	35.98~60.35

2.2.5 土壤速效磷 一般认为,磷的移动性较差,因而主要聚集到施肥点附近。表 6 清晰地反映出上述特点,

即施磷肥后 0~20 cm 表层土壤速效磷迅速数倍增加,同时也表明施肥深度较浅,不同棚之间,以及同一棚内不同样点之间磷的变异系数较大。磷能促进作物根系的开展,并改善果品品质。因此,磷肥宜适度深施。

表 6 设施果树栽培土壤速效磷的变异特征

	层次	均值	极差	方差	标准差	变异系数%	95%置信区间
棚间	0~20	125.65	228.90	6639.0380	81.6029	64.94	50.18~201.12
	20~40	52.0	21.880	57.5292	7.5848	14.59	44.98~59.01
棚内未施肥	0~20	64.91	33.087	122.1706	11.0531	17.03	53.32~76.51
	20~40	43.82	71.523	893.9405	29.8988	68.23	12.45~75.20
棚内施肥	0~20	184.39	186.917	4864.1890	69.7437	37.82	111.20~257.58
	20~40	56.93	101.198	1695.9620	41.1821	72.33	13.72~100.15

2.2.6 土壤速效钾 黄河冲击母质上形成的灌淤土,一般富含速效钾,按中国土壤分级标准,达到较丰富的 2 级水平^[8](表 7)。同理,施肥后土壤速效钾水平迅速增加,且表层速效钾含量高于次表层,表明施肥深度的不足。与氮、磷相比,钾的不同层次及不同样点间的变异系数都较小。

表 7 设施果树栽培土壤速效钾的变异特征

	层次	均值	极差	方差	标准差	变异系数%	95%置信区间
棚间	0~20	184.62	122.330	2425.3360	49.2477	26.68	139.07~230.17
	20~40	146.57	76.670	767.8737	27.7105	18.91	120.94~172.20
棚内未施肥	0~20	138.00	73.0	713.20	26.7058	19.35	109.97~166.03
	20~40	150.00	135.0	2490.0	49.8999	33.27	97.63~202.37
棚内施肥	0~20	244.33	170.0	3936.6670	62.7429	25.68	178.49~310.18
	20~40	191.67	164.0	3011.0670	54.8732	28.63	134.08~249.25

3 讨论

了解土壤养分时空变异是土壤养分科学管理的基础。近年来,随着精准农业研究的逐步深入,农田土壤养分变异、田间抽样技术和平衡施肥研究受到越来越多的重视^[9-10],在生产中的作用也显现出来。设施栽培环境复杂,对施肥要求很高,不适当的施肥不但浪费资源,影响产量,还会导致设施土壤恶化,影响其可持续生产。

变异系数是传统统计学中常用的研究土壤养分变异的指标。变异系数亦称离散系数,反映变量的离散程度。土壤养分的变异系数大意味着需要采集更多的样本才能比较真实反映土壤养分平均状况。宁夏银川平原典型土壤灌淤土果树设施栽培后,养分状况良好,有机质及氮磷钾含量均较高,尤其是速效磷在土壤中的积累较多,远超过 20 世纪 80 年代第 2 次全国土壤普查的水平^[11],说明近年施肥管理取得了较好的成效。6 个土壤肥力因子中变异系数大小顺序为:碱解氮(47.8%)> 速效磷(45.8%)> 速效钾(25.4%)> 全盐(18.9%)> 有机质(15.8%)> pH 值(1.8%)。因此,对设施果树土壤进行测试配方施肥时,pH 值、有机质、全盐和速效钾的采样数量可以少一些,而速效氮、磷的采样数量应多一些。

测定结果也同时反映出一些问题,一是土壤全盐增

加较多, 需要特备关注; 二是土壤速效养分表层积累较多, 表明施肥深度不足; 三是土壤养分的变异系数较大, 尤其是速效氮、磷的变异很大, 说明施肥的不均一, 也为测土配方施肥的准确性增加了难度; 四是氮、磷、钾比例不协调, 特别是磷肥施用量增加太快, 速效磷的平均积累数量已经超过碱解氮和速效钾。

土壤养分比例失调是果树优质高产稳产的障碍因子之一。为此, 在实际生产中, 首先应依据果树种类及其生长发育阶段的养分需求特性, 深入开展测土配方施肥研究, 协调氮、磷、钾比例。同时还要根据果树不同生育期对养分需求的特点, 均衡供应果树生长所必需的各种养分, 以提高肥料的利用率和果树产量及品质^[12]。仇宏昌等推荐, 每生产 1 000 kg 果品需农家肥 1.5 t, N 6.5~7.5 kg, P₂O₅ 2.5~2.8 kg, K₂O 5.5~6.5 kg, 每 667 m² 基施硫酸锌 1~1.5 kg、硼砂 0.3~0.5 kg、钼酸铵 0.1~0.2 kg、硫酸铜 1~2 kg、硫酸锰 2~3 kg。微肥还可以作根外追肥, 用硫酸锌 (0.05%~0.2%)、硼砂 (0.1%~0.2%)、钼酸铵 (0.02%~0.05%)、硫酸铜 (0.02%~0.05%)、硫酸锰 (0.1%~0.2%) 均匀喷于叶片正反面^[13], 有利于果品产量和品质的提高。其次, 设施栽培条件下, 增强土壤通透性对果树的生长发育至关重要, 应增施改土效果较好的有机肥, 如腐熟的家畜粪肥或作物秸秆。果树设施栽培在合理施用化肥的同时, 适量增施有机肥能有效地预防和减轻土壤表层盐积现象。同时, 施用有机肥和增施有机物料还可以改良土壤结构, 增加土壤缓冲性能, 改善土壤微生物区系, 提高土壤养分有效性, 补足微量元素, 促进根系生长, 并对减轻环境污染有显著效果。此外, 果树抗盐力较差, 应严格控制土壤肥料种类和数量, 尽量选择盐效指数较小的肥料 (磷酸二铵、过磷酸钙、硫酸钾的盐效指数分别为 34、8、46, 而尿素、硝酸铵和氯化钾的盐效指数分别为 75、105、116)^[14], 减轻盐胁迫的危害。

Characteristics and Spatial Variability of Soil Fertility in Greenhouse Fruit Tree Cultivation Filed in Irrigated Area of Ningxia

SUN Quan, ZHANG Ya-hong, LI Jian-sha, YU Jing, ZHANG Xue-ying, CAO Qing-jie, SHA Hai-ning, WANG Li, WANG Shu-zhen
(Agrucultural College of Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: Soil basic physical and chemical properties and their variability under greenhouse fruit tree cultivation condition were studied by means of indoor analysis and traditional statistical methid. The result showed that soil bulk density was increased more than 10%, yet total porosity was lowered than normal level. Tested soil has higher content of organic matter, nitrogen, phosphorous and potasium. Much more phosphorous was accumulated in the soil. The variable sequence of them were: available N> available P> available K> total salt> organic matter> pH. Hereby, soil pH, organic matter, total salt, available K can sample less, but available N and P should sample more inorder to increase the accuracy of soil survey and fertilization.

Key words: Greenhouse fruit; Soil fertility; Variance coefficient

4 结论

机械打墙后设施果树栽培土壤的容重增大 10% 以上, 总孔隙度小于正常水平; 供试区设施果树栽培土壤有机质及速效氮磷钾含量均较高, 尤其是速效磷在土壤中的积累较多, 供肥性较好; 供试区 6 个主要肥力指标的变异系数大小顺序为: 碱解氮> 速效磷> 速效钾> 全盐> 有机质> pH 值; 为了增强测土配方施肥的精确性, 土壤 pH 值、有机质、全盐和速效钾的采样数量可适当减少, 而速效氮、磷的采样数量应增加。

参考文献

[1] 王金政, 苏桂林, 张安宁, 等. 山东省果树设施栽培现状及发展对策 [J]. 中国果树, 2008(1): 61-63.
[2] 内海修一. 保护地园艺: 环境与作物生理 [M]. 北京: 农业出版社, 1984.
[3] 黄绍文, 金继运. 土壤特性空间变异研究进展 [J]. 土壤肥料, 2002 (1): 8-13.
[4] 谢臣. 永宁县设施果业发展方式初探 [J]. 中国果业信息, 2007, 24 (1): 14-16.
[5] 孙权. 农业资源与环境质量分析方法 [M]. 银川: 宁夏人民出版社, 2004.
[6] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
[7] 杨金玲, 张甘霖, 赵玉国, 等. 土壤压实指标在城市土壤评价中的应用与比较 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 51-55.
[8] 全国土壤普查办公室. 中国土壤 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
[9] 袁新田, 焦加国, 李辉信. 上海农场农田土壤养分状况及培肥措施 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(32): 10381-10382.
[10] 李琳一, 吕卫光, 袁涛, 等. 设施蔬菜栽培土壤养分变异和取样研究 [J]. 上海农业学报, 2008, 24(1): 4-4.
[11] 王吉智. 宁夏土壤 [M]. 银川: 宁夏人民出版社, 1990.
[12] 路超, 王金政, 张安宁, 等. 果树设施栽培土壤肥力特征与管理技术措施 [J]. 山东农业科学, 2007(3): 119-121.
[13] 仇宏昌, 贺亚丽, 费玉杰, 等. 提高设施果品品质的关键技术 [J]. 北方果树, 2006(1): 32-34.
[14] 胡克伟, 贾冬艳, 王东升, 等. 保护地土壤次生盐渍化及其调控措施 [J]. 北方园艺, 2002(1): 12-13.

(该文章的作者还有曹庆杰, 沙海宁, 王丽, 王淑珍, 单位同第一作者。)