

山东省设施蔬菜施肥量演变及土壤养分变化规律^{*}

刘兆辉 江丽华 张文君 郑福丽 王 梅 林海涛

(山东省农业科学院土壤肥料研究所, 济南 205100)

摘 要 山东省是中国蔬菜的主要产区, 常年蔬菜种植面积占全国的 10% 以上, 设施蔬菜的面积占全国的近 50%。1994~1997 年山东设施蔬菜年平均施肥量达到 N 1 351 kg hm⁻²、P₂O₅ 1 701 kg hm⁻²和 K₂O 539.6 kg hm⁻², 在这段时间内施肥量逐年增加, 2004 年的施肥量与 1997 年相比氮肥和磷肥的用量有所减少, 钾肥的用量有所增加, 有机养分占总养分的比例明显增加。设施蔬菜土壤养分表观平衡为氮磷钾均盈余, 且盈余量较大。设施蔬菜在大量施肥的情况下, 肥料的利用率较低, 1997 年寿光设施蔬菜氮肥的表观利用率为 21.33%, 磷肥的表观利用率只有 2.82%, 钾肥的利用率较高达到 61.34%。大棚蔬菜土壤 pH 值与露地相比有降低的趋势, 土壤有机质含量高于露地土壤。山东省不同地区大棚土壤中碱解氮含量差异较大, 以地处鲁西的德州最低, 寿光的最高, 平均达到 205.4 mg kg⁻¹。不同地区大棚土壤中有效磷含量差异很大, 寿光设施蔬菜土壤有效磷含量最高, 平均为 225.2 mg kg⁻¹, 土壤有效磷具有明显的积累效应, 设施种植时间与土壤有效磷含量之间存在极显著的正相关性($r = 0.550^{**}$, $n = 35$)。土壤母质类型对土壤速效钾具有一定的影响, 寿光设施蔬菜土壤中速效钾含量最高, 平均为 369.7 mg kg⁻¹。土壤速效钾也具有明显的积累效应, 设施种植时间与土壤速效钾含量之间具有极显著的正相关性($r = 0.502^{**}$, $n = 35$)。设施表层土壤中水溶性钙的含量平均为 337.9 mg kg⁻¹, 土壤水溶性镁的含量平均为 67.8 mg kg⁻¹, 明显高于露地土壤。设施蔬菜土壤中微量元素含量均高于露地土壤。

关键词 设施蔬菜; 土壤; 施肥量; 速效养分; 微量元素

中图分类号 S157 文献标识码 A

中国种植蔬菜具有悠久的历史, 积累了丰富的种植经验。近几年来我国蔬菜生产发展较比历史上任何时候都迅速, 据农业部全国农业技术服务中心统计, 在 1980~2003 年蔬菜播种面积由 1980 年的 316 万 hm², 增加至到 2003 年的 1 800 万 hm²^[1, 2], 蔬菜面积增加迅速。

蔬菜生产的一个重要发展方向是设施栽培。本文讨论的设施主要指日光温室。近年来, 我国设施蔬菜栽培面积迅速增加, 1981 年全国设施蔬菜栽培的面积不足 0.72 万 hm², 至 1998 年全国设施蔬菜栽培的面积已突破 144.4 万 hm², 2002~2003 年全国设施蔬菜栽培的面积已达到 250 万 hm², 较 1981 年增加了 347 倍^[3]。设施保护地蔬菜栽培在蔬菜生产中占有重要地位, 占蔬菜总产值的 40%, 保护设施地蔬菜栽培具有特殊的栽培环境条件, 在半封闭半敞开的条件下, 有独特的水、肥、气、热环境, 形成了具有保护地设施菜地特色的土壤养分特点^[4-13]。

山东省是中国蔬菜的主要产区, 2002 年山东省蔬菜面积 228 万 hm², 占中国蔬菜面积的 13.14%, 蔬菜产量 9 679 万 t, 占中国蔬菜总产量的 18.29%。2003 年山东省设施蔬菜面积 72 万 hm², 占全国的近 50%, 2003 年山东省蔬菜出口量达到 177.5 万 t, 创汇 7.98 亿美元, 蔬菜出口量占全国蔬菜出口总量 35% 以上^[4]。

设施栽培作为一种终年可以种植作物的栽培形式, 能够形成蔬菜的反季节生产, 冬季、早春蔬菜价格高, 效益好。在利益的驱动下, 菜农盲目追求高产。但设施保护地栽培的关键时期 12 月至次年 3 月, 温度低, 光照常常不足, 作物吸收养分的能力低, 为使作物速生、高产, 菜农施用大量的肥料以弥补作物吸收能力的不足。为使研究更有针对性, 发现设施蔬菜保护地施肥中的问题, 有必要对设施蔬菜保护地施肥现状进行全面的调查和研究, 分析设施蔬菜栽培保护地养分平衡状况。

^{*} 国家科技支撑项目(2006BAD17B07)资助

作者简介: 刘兆辉(1963~), 男, 博士, 研究员。主要从事作物营养与施肥、新型肥料研制和土壤化学方面的研究。电话: 0531-83179546, E-mail: liuzhaohui@saas.ac.cn

收稿日期: 2006-11-22; 收到修改稿日期: 2007-09-08

1 研究方法

1.1 设施蔬菜施肥状况的调查方法

为了能够了解保护地设施蔬菜的施肥历史、施肥演变过程, 1996 年 11~ 12 月在山东省武城县、青州市和寿光市分别随机抽取农户, 调查 1994 年和 1995 年以及 1996 上半年的设施蔬菜施肥情况, 按照经济发展和施肥管理水平分上中下三个等级, 选择乡镇, 随机抽取农户, 逐项填写调查内容, 每个县市调查 2 个乡镇, 每个乡镇调查 3 个村, 每村 5 户。1997 年 9~ 10 月对武城县和青州市各两个镇 15 个农户, 寿光市 3 个乡镇 6 个村的 30 个农户, 调查了 1996~ 1997 年度肥料使用和蔬菜产量情况; 2004 年 11 月对寿光市 4 个乡镇的 4 个村, 24 个农户蔬菜肥料使用和产量情况进行了调查。

1.2 计算养分平衡采用的参数

在选用参数时立足于山东的实际情况, 尽量采用本研究室、本省分析数据, 尽量做到科学准确。有机肥及主要作物养分含量分别见表 1、表 2 和表 3。氮的损失率: 设施- 55%。

表 1 有机肥养分含量¹⁾

Table 1 Nutrient content of organic manure

肥料品种 Manure type	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O(%)
厩肥 Barnyard manure	0.40	0.17	0.50
鸡粪 Chicken manure	1.73	2.25	1.10
人粪 Night soil	2.00	1.25	0.93
豆饼 Soybean cake	7.00	1.32	2.13

1) 表中数据源自文献[14] The data were cited from literature [14]

表 2 人畜粪尿排泄量及养分含量¹⁾

Table 2 Amounts of excreta from man and animal and their nutrient contents

种类 Source	年排泄量 Amount/year (t a ⁻¹)	每吨粪尿中养分含量 Nutrient content (kg t ⁻¹)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
人 Human	0.79	4.62	0.82	1.75
猪 Pig	0.95	5.40	3.23	6.63
牛 Beef cattle	7.80	5.12	1.56	3.96
马 Horse	5.30	6.39	2.45	4.97
羊 Sheep	0.25	9.10	4.12	5.08
家禽 Poultry	—	0.11	0.11	0.06

1) 表中数据源自文献[15] The data were cited from the literature [15]

表 3 每生产 100 kg 蔬菜所需的养分¹⁾

Table 3 Nutrient requirement (kg) for production of 100 kg vegetable

作物 Crop	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
黄瓜 Cucumber	0.21	0.10	0.35
番茄 Tomato	0.31	0.07	0.50
茄子 Plant egg	0.31	0.07	0.49
辣椒 Hot pepper	0.58	0.11	0.74
云豆 Kidney bean	1.03	0.05	0.98
芹菜 Celery	0.31	0.18	0.49

1) 表中数据源自文献[16, 17] The data were cited from the literature [16, 17]

1.3 土壤样品采集与测定方法

土壤样品主要采自山东省济南市历城区、泰安市、德州市的武城县和潍坊市的寿光市。采样时间一般在每年的 4~ 5 月, 表层土壤采样深度为 0~ 20 cm, 在一些典型大棚采集了 0~ 130 cm 的剖面土样, 样品风干处理后备用。测定硝态氮含量的土样, 采集后, 存放在加冰的保温桶内备用。

土壤水分测定采用 105 °C 恒温烘干法, 土壤有机质测定采用重铬酸钾滴定法, 土壤 pH 采用 1: 5 水土比悬液电位测定法, 土壤盐分含量测定采用 1: 1 土壤悬液电导法。土壤硝态氮测定采用蒸馏水提取, 酚二磺酸比色法; 土壤碱解氮测定采用碱解扩散法; 有效磷测定采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法; 速效钾测定采用 1 mol L⁻¹ NH₄OAc 浸提-火焰光度比色法; 有效钙、镁测定采用 EDTA 容量法。微量元素测定采用 DTPA 提取-原子吸收法^[18]。

2 结果与分析

2.1 设施蔬菜的施肥量演变

2.1.1 设施蔬菜施肥种类 调查研究表明, 设施蔬菜施用的有机肥和化肥均为优质肥料, 施用的有机肥料品种主要有鸡粪、厩肥、堆肥、饼肥、大豆(煮熟)等, 其中鸡粪占有机肥的 80% 以上, 调查发现个别农户施用豆油、花椒种(炒熟)等, 其他作物极少施用的有机物。设施蔬菜施用的化肥品种依次为复合肥、磷酸二铵、碳酸氢铵、普钙、尿素、硝酸铵、硝酸磷肥、钙镁磷肥等。复合肥和磷酸二铵占化肥用量的 70% 以上。

2.1.2 设施蔬菜施肥量 1994~ 1997 年山东省设施蔬菜的年均施化肥肥量达 N943 ~ 2 288 kg hm⁻²、P₂O₅ 950 ~ 2 591 kg hm⁻² 和 K₂O 281 ~ 1 245 kg hm⁻² (表 4、图 1), 2004 年的施肥量(寿光)

与1996~1997年相比氮肥和磷肥用量有所减少,钾肥用量有所增加,施肥量远远高出作物的需求量。在三个被调查的县市中,除武城氮肥施用量稍少外,设施蔬菜施肥量差别不大。设施蔬菜施

肥的另一个特点是施肥量持续增加,1994~1997年肥料量每年均在增加,氮磷的增加比例小于钾。2004年与1994~1997年相比有机肥的施用比例明显增加(图1)。

表4 设施蔬菜施肥量

Table 4 Annual fertilizer application rate (kg hm^{-2}) on greenhouse vegetable crops

肥料种类 Fertilizer type	年份 Year	武城 Wucheng			青州 Qingzhou		
		化肥 Chemical fer	有机肥 Organic manure	合计 Total	化肥 Chemical fer	有机肥 Organic manure	合计 Total
N	1994	—	—	—	943	201	1 143
	1995	1 530	568	2 098	1 191	367	1 558
	1996	1 695	598	2 293	2 194	391	2 586
	1997	1 740	633	2 373	2 288	461	2 749
	2004	—	—	—	—	—	—
	平均 Average	1 655	600	2 255	1 654	355	2 009
	变异系数 CV(%)	6.68	5.42	6.27	41.50	31.03	38.92
P_2O_5	1994	—	—	—	950	339	1 288
	1995	2 280	958	3 238	1 337	619	1 956
	1996	2 340	1 008	3 348	1 976	660	2 636
	1997	2 430	1 115	3 545	2 166	678	2 844
	2004	—	—	—	—	—	—
	平均 Average	2 350	1 027	3 377	1 607	574	2 181
	变异系数 CV(%)	3.21	7.81	4.61	35.07	27.63	32.36
K_2O	1994	—	—	—	281	266	547
	1995	247.5	752	1 000	599	487	1 086
	1996	1 140	792	1 932	517	518	1 036
	1997	1 245	836	2 081	553	531	1 084
	2004	—	—	—	—	—	—
	平均 Average	878	793	1 671	488	450	938
	变异系数 CV(%)	62.46	5.30	35.06	29.07	27.61	27.91

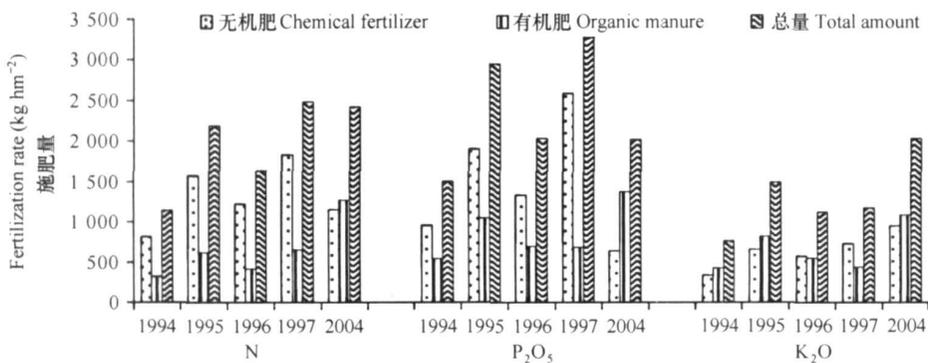


图1 1994~1997年和2004年寿光设施蔬菜化肥和有机肥用量

Fig. 1 Fertilization rate in greenhouse between 1994~1997 and 2004 in Shouguang

2.1.3 土壤养分表观平衡状况 土壤养分表观平衡指土壤中化肥和有机肥的投入量减去作物的带出量, 根据调查的作物产量和现有的每生产 100 kg 产量的吸肥量, 计算作物带出的养分量。结果表明: 寿光市蔬菜生产具有施肥量大的特点, 土壤养分表观平衡为氮磷钾均都出现盈余, 1997 年氮的盈余量达到 1 957 kg hm⁻², 磷的盈余量为 3 187 kg hm⁻², 钾的盈余量为 453.0 kg hm⁻²; 2004 年土壤氮磷的盈余

量有所减少, 钾的盈余量增加(表 5)。

设施蔬菜在大量施肥的情况下, 肥料的利用率较低, 1997 年寿光设施蔬菜氮肥的表观利用率为 21.33%, 磷肥的表观利用率只有 2.82%, 这一结果与马文奇等得出的基本一致^[19], 钾肥的利用率较高达到 61.34%, 2004 年氮磷肥的利用率明显提高, 氮肥的表观利用率提高至 31%, 磷肥的利用率提高至 11%, 钾肥的利用率有所降低。

表 5 1997 年和 2004 年寿光设施蔬菜施肥状况

Table 5 Fertilization rate (kg hm⁻²) on greenhouse vegetable in 1997 and 2004 in Shouguang

项目 Item	1997			2004		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
施入有机肥 Organic manure	669	688	442	1 155	647	949
施入无机肥 Chemical fertilizer	1 829	2 591	730	1 272	1 376	1 085
有机肥占总养分的比例 Percentage of organic manure (%)	26	21	38	48	32	47
总施肥量 Total	2 488	3 279	1 172	2 428	2 022	2 033
表观盈亏 Apparent balance	1 957	3 187	453	1 668	1 801	920
表观利用率 Apparent recovery (%)	21	3	61	31	11	55

2.2 设施蔬菜土壤养分状况

2.2.1 土壤 pH 对山东省设施蔬菜主要种植区土壤取样分析结果表明, 土壤 pH 有降低的趋势(表 6)。寿光 25 个土样 pH 平均值为 7.69, 建棚前寿光土壤 pH 为 8.14, 较露地土壤降低了 5.9%, 种植 7 a 后, 土壤 pH 降至 6.85 左右。表 6 还显示, 在种植 2 a、4 a、5 a 后 pH 变化较小。在寿光, 李俊良等测定的一个种植 13 a 的设施土壤 pH 降至 4.31^[7]。寿光土壤为褐土, 不同乡镇露地土壤 pH 的差异不显著, 设施蔬菜施用土壤改良剂, 其 pH 变化规律性较差。梁成华等对辽宁设施土壤研究表明^[6], 设施种植 36 a 后, 土壤 pH 变化很小, 露地为 6.6, 36 a 的设施

土为 6.1。

2.2.2 土壤有机质 设施蔬菜土壤有机质含量高于露地土壤, 寿光设施土壤有机质平均含量为 12.7 g kg⁻¹(表 7), 而寿光露地土壤有机质平均含量为 9.86 g kg⁻¹(587 个土壤样品, 来自本课题组未发表资料), 设施土壤有机质含量较露地高 22.4%。泰安、济南和德州设施蔬菜土壤有机质含量明显高于寿光设施蔬菜土壤有机质, 主要原因是寿光施用的有机肥 80% 以上是鸡粪, 鸡粪在土壤中分解快不利于土壤有机质的积累, 而其他地区 肥的比例较大。

2.2.3 土壤氮、磷、钾 山东省不同地区设施土壤中碱解氮含量差异较大(表 7), 以德州最低寿光最高, 德州样品较少可能影响结果; 泰安设施土壤中碱解氮含量也较高; 寿光设施蔬菜土壤中碱解氮含量最高, 平均为 205.4 mg kg⁻¹。设施土壤碱解氮较露地土壤高得多。辽宁设施土壤中碱解氮也有积累现象, 但积累量没有如此强烈^[12]。设施蔬菜土壤中的碱解氮以硝态氮为主(表 8), 土壤中大量硝酸盐积累, 容易造成土壤盐渍化, 降低蔬菜品质, 而且容易造成土壤硝酸盐的淋洗, 污染地下水。

表 6 寿光设施土壤 pH 随设施使用时间的变化

Table 6 pH value of greenhouse soil in Shouguang

棚龄 Age of greenhouse (a)	pH 平均值 Average of pH value
1	7.80
2	7.99
4	7.93
5	7.84
6	8.12
7	6.85
露地 Open field	8.14

表7 山东省不同地区设施土壤养分含量

Table 7 Nutrient contents in greenhouse soils in different regions in Shandong Province

地点 Site	样点数 Sample number	有机质 OM(g kg^{-1})	碱解氮 Hydrolyzable N(mg kg^{-1})	有效磷 Avai. P(mg kg^{-1})	速效钾 Avai. K(mg kg^{-1})
济南 Jinan	10	20.6	128.7	97.6	143.2
泰安 Taian	40	22.3	143.0	135.0	174.0
德州 Dezhou	4	17.5	91.3	77.5	258.0
寿光 Shouguang	111	12.7	205.4	225.2	369.7

表8 山东省寿光市露地和设施土壤硝态氮含量状况(0~20 cm)

Table 8 Nitrate contents of soils in open field and greenhouse in Shouguang

项目 Item	样本数 Number of soil samples	含量范围 Range of soil nitrate content (mg kg^{-1})	平均含量 Average of soil nitrate content (mg kg^{-1})
露地 Open field	3	30.1~45.5	39.9
大棚 Greenhouse	36	39.5~431.0	200.9

山东省不同地区设施土壤中有效磷含量差异也很大(表7),以德州最低寿光最高。寿光设施蔬菜土壤中有效磷含量最高,平均含量为 225.2 mg kg^{-1} ,露地表层土壤中有效磷含量为 $4.0 \sim 342.1 \text{ mg kg}^{-1}$ (本课题组未发表资料),平均含量为 16.8 mg kg^{-1} ,设施土壤有效磷含量为露地土壤的13.4倍,土壤有效磷具有明显的积累效应(图2),棚龄与土壤有效磷含量之间存在极显著的相关性($r = 0.550^{**}$, $n = 35$)。大量施用磷肥是造成土壤有效磷积累的主要原因。肖千明等^[12]测定辽宁不同地区的设施土壤表明,土壤有效磷一般在 50 mg kg^{-1} ,不同地区不同年限平均含量为 130 mg kg^{-1} 。

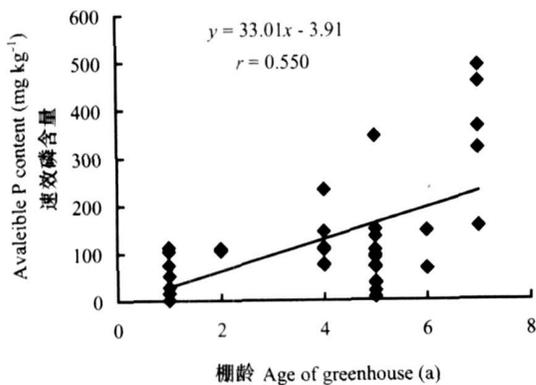


图2 棚龄与土壤有效磷含量的关系

Fig. 2 Relationship of greenhouse age with soil available P

山东省不同地区设施土壤中速效钾含量差异也很大(表7),土壤母质类型对土壤速效钾具有一定的影响。德州设施蔬菜土壤中速效钾含量较高的原

因主要是母质的因素,寿光设施蔬菜土壤中速效钾含量最高,为 369.7 mg kg^{-1} 。设施土壤速效钾也具有明显的积累效应(图3),棚龄与土壤速效钾含量之间具有极显著的相关性($r = 0.502^{**}$, $n = 35$)。

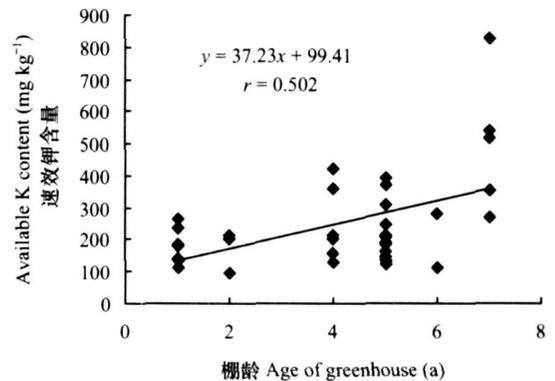


图3 棚龄与土壤速效钾的关系

Fig. 3 Relationship of greenhouse age with soil available K

2.2.4 土壤水溶性钙镁 表9显示设施土壤0~20 cm 土层中水溶性钙含量在 $154.3 \sim 698.3 \text{ mg kg}^{-1}$,平均含量为 337.9 mg kg^{-1} ,而露地土壤中水溶性钙含量为 154.3 mg kg^{-1} ,变异系数为36.7%,设施土壤中水溶性钙含量明显增加。设施土壤0~20 cm 土层中水溶性镁含量在 $27.2 \sim 156.0 \text{ mg kg}^{-1}$,平均含量为 67.8 mg kg^{-1} ,变异系数为50.4%,露地土壤中水溶性镁含量为 14.9 mg kg^{-1} ,设施土壤中水溶性镁含量高于露地土壤,与余海英等^[20]得出的结果相类似。正常情况下设施土壤一般不会缺钙,镁的含量远远低于钙的含量,可能有缺

镁现象。肖千明等的研究表明, 设施土壤中的 交换性钙和镁低于露地土壤^[12]。

表 9 寿光设施土壤中水溶性钙镁含量

Table 9 Contents of water soluble Ca and Mg in greenhouses soil in Shouguang

地点 Site	深度 Depth (cm)	Ca ²⁺ (mg kg ⁻¹)	Mg ²⁺ (mg kg ⁻¹)	棚龄 Greenhouse age (a)
洛城南范 Nanfan Luocheng town	0~ 20	154.3	14.9	露地 Open field
洛城南范 Nanfan Luocheng town	0~ 20	357.3	71.8	5
洛城六股路 Liugulu Luocheng town	0~ 20	341.0	69.3	5
洛城六股路 Liugulu Luocheng town	0~ 20	698.3	79.3	1
洛城南范 Nanfan Luocheng town	0~ 20	276.1	76.8	1
洛城南范 Nanfan Luocheng town	0~ 20	203.0	34.7	5
洛城六股路 Liugulu Luocheng town	0~ 20	476.6	65.9	1
孙集三元朱 Sanyuanzhu Sunji town	0~ 20	182.7	29.7	7
洛城六股路 Liugulu Luocheng town	0~ 20	251.7	156.0	1
古城前王 Qianwang Gucheng town	0~ 20	385.7	131.3	5
孙集三元朱 Sanyuanzhu Sunji	0~ 20	430.4	47.1	1
洛城南范 Nanfan Luocheng town	0~ 20	251.7	66.9	7
洛城六股路 Liugulu Luocheng town	0~ 20	359.6	74.3	4
洛城六股路 Liugulu Luocheng town	20~ 40	324.8	54.5	4
洛城六股路 Liugulu Luocheng town	40~ 60	315.3	50.3	4
洛城六股路 Liugulu Luocheng town	60~ 80	288.3	49.5	4
洛城六股路 Liugulu Luocheng town	80~ 130	263.9	27.2	4
0~ 20 cm 土层平均值 Average of 0~ 20 cm soil layer		337.9	67.8	
范围 Range of content of water soluble Ca and Mg		203.0~ 698.3	27.2~ 156.0	
变异系数 CV (%)		36.7	50.4	

2.2.5 土壤微量元素 从寿光土壤分析结果来看(图 4), 设施土壤中微量元素除硼外, 含量均高于露地土壤。蔬菜虽然吸收大量微量元素, 但设施蔬菜施用大量鸡粪和含微量元素复合肥造成土壤微量元素增加。蔬菜需硼量大, 土壤中的硼含量较低, 作

物可能出现缺硼。与肖千明等^[12]的研究结果相类似, 即设施土壤速效铜、铁、锰、锌含量一般高于露地土壤, 硼出现耗竭, 低于露地土壤。

3 结 语

调查研究表明设施蔬菜施肥量很大, 1994~1997 年山东省三个县市年化肥用量达到 N 943~2 288 kg hm⁻²、P₂O₅ 950~2 591 kg hm⁻²和 K₂O 281~1 245 kg hm⁻², 2004 年氮肥和磷肥总用量有所减少, 钾肥用量有所增加, 但是, 施肥量仍然远远高出作物的需求量。随时间的变化有机肥的施用比例明显增加。大量施肥造成土壤养分出现大量盈余, 1997 年氮磷钾的盈余量分别为 1 957 kg hm⁻²、3 187 kg hm⁻²和 453.0 kg hm⁻²; 2004 年土壤氮磷的盈余量有所减少, 钾的盈余量增加。设施蔬菜大量施肥致使肥料的利用率较低, 寿光设施蔬菜 1997 年氮肥

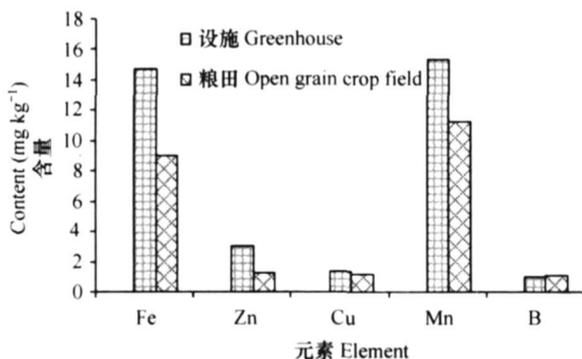


图 4 寿光设施土壤中微量元素含量

Fig 4 Micronutrient contents (mg kg⁻¹) in greenhouse soil in Shouguang

的表现利用率为 21.33%，磷肥的表现利用率只有 2.82%，钾肥的利用率为 61.34%，2004 年氮的利用率提高至 31%，磷肥的利用率提高至 11%，钾肥的利用率有所降低。

设施蔬菜土壤具有明显的酸化现象，对寿光露地土壤和设施菜地调查表明，露地土壤 pH 为 8.0 左右，种植 7 a 后，土壤 pH 降至 6.85 左右。设施蔬菜土壤有机质含量高于露地土壤，但是不太明显，这与施用的有机肥品种有关，设施蔬菜主要施用鸡粪，鸡粪在土壤中分解快，不利于土壤有机质的积累。

山东省不同地区设施土壤中碱解氮的含量差异较大，以山东西部德州的最低寿光的最高。辽宁设施土壤中碱解氮也有明显积累现象^[12]。设施蔬菜土壤中的碱解氮以硝态氮为主，土壤中大量硝酸盐积累，对蔬菜品质和环境都具有一定的威胁。

不同地区设施土壤中有效磷的含量也有较大差异，以山东西部德州的最低寿光的最高。寿光设施蔬菜土壤中速效磷含量为 225.2 mg kg^{-1} 。土壤有效磷具有明显的积累效应，棚龄与土壤有效磷含量之间存在极显著的相关性 ($r = 0.550^{**}$, $n = 35$)。山东三县市中寿光设施蔬菜土壤中速效钾含量最高，平均为 369.7 mg kg^{-1} 。设施土壤速效钾也具有明显的积累效应，棚龄与土壤速效钾含量之间具有极显著的相关性 ($r = 0.502^{**}$, $n = 35$)。肖千明等^[12]的研究结果表明，多数设施土壤中的速效钾含量增加，其含量一般在 150 mg kg^{-1} 以上，露地土壤一般在 90 mg kg^{-1} 左右，增加的幅度在 60%~150% 之间，个别土壤的速效钾含量减少。哈尔滨市设施土壤中速效钾含量也明显高于露地土壤，设施土壤速效钾含量是露地土壤的 2.1~3.8 倍，呈高度富集状态^[13]。施肥量的大小是造成设施菜地土壤养分差异的主要原因。设施土壤表土层中水溶性钙含量平均为 337.9 mg kg^{-1} ，土壤水溶性镁含量平均为 67.8 mg kg^{-1} 。正常情况下设施土壤一般不会缺钙，镁的含量远远低于钙的含量，可能有缺镁现象。设施土壤中微量元素除硼外，含量均高于露地土壤。

参 考 文 献

- [1] 丁保华. 近 10 年来我国蔬菜生产的变化特点和发展趋势. 见: 谢建昌, 等编. 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥论文集. 南京: 河海大学出版社, 1997. 17~ 21. Ding B H. Exchange and trend of Chinese vegetable production in the last 10 years. In: Xie J C, et al. eds. Vegetable Soil Fertility and Seasonable Fertilization for Vegetable (In Chinese). Nanjing: Hohai University Press, 1997. 17~ 21
- [2] 张真和, 李建伟. 我国蔬菜设施园艺的现状及其可持续发展对策探讨. 见: 李晓林, 等编. 平衡施肥与可持续优质蔬菜生产. 北京: 中国农业大学出版社, 2000. 1~ 7. Zhang Z H, Li J W. Discussion on current status and sustainable development of protective vegetable culture in China. In: Li X L, et al. eds. Fertilizing for Sustainable Production of High Quality Vegetables (In Chinese). Beijing: China Agricultural University Press, 2000. 1~ 7
- [3] 李天来. 我国日光温室产业发展现状与前景. 沈阳农业大学学报, 2005, 36(2): 131~ 138. Li T L. Current situation and prospects of green house industry development in China (In Chinese). Journal of Shenyang Agricultural University, 2005, 36(2): 131~ 138
- [4] 何启伟, 焦自高. 推进山东省出口蔬菜发展的对策与建议. 山东农业信息网. <http://www.sdny.gov.cn/asp/detail>, 2005-06-27. He Q W, Jiao Z G. Policy and suggestions for improving vegetable export of Shandong Province (In Chinese). Shandong Agricultural Information Website. <http://www.sdny.gov.cn/asp/detail>, 2005-06-27
- [5] 贾继文, 李文庆, 陈保成. 山东省蔬菜大棚土壤养分状况与施肥现状的调查研究. 见: 谢建昌, 等编. 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥. 南京: 河海大学出版社, 1997. 73~ 75. Jia J W, Li W Q, Chen B C. The soil characteristics of Shandong greenhouse vegetable and fertilization investment. In: Xie J C, et al. eds. Vegetable Soil Fertility and Seasonable Fertilization for Vegetable (In Chinese). Nanjing: Hohai University Press, 1997. 73~ 75
- [6] 梁成华, 陈新芝, 唐咏. 辽宁省蔬菜保护地土壤钾素状况研究. 见: 谢建昌, 等编. 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥. 南京: 河海大学出版社, 1997. 97~ 100. Liang C H, Chen X Z, Tang Y. Study on greenhouse vegetable soil K in Liaoning. In: Xie J C, et al. eds. Vegetable Soil Fertility and Seasonable Fertilization for Vegetable (In Chinese). Nanjing: Hohai University Press, 1997. 97~ 100
- [7] 李俊良, 张福锁, 李晓林, 等. 寿光蔬菜生产与施肥现状的研究. 见: 李生秀编. 土壤-植物营养研究文集. 西安: 陕西科学技术出版社, 1999. 641~ 646. Li J L, Zhang F S, Li X L, et al. The study of vegetable production and fertilization conditions in Shandong. In: Li S X. eds. Soil-Plant Nutrient Collection (In Chinese). Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1999. 641~ 646
- [8] 李文庆, 贾继文, 李贻学. 大棚种植蔬菜对土壤理化性质及生物形状的影响. 见: 谢建昌, 等编. 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥. 南京: 河海大学出版社, 1997. 76~ 79. Li W Q, Jia J W, Li Y X. Effect of grown vegetable in greenhouse on soil physical and biological characteristics. In: Xie J C, et al. eds. Vegetable Soil Fertility and Seasonable Fertilization for Vegetable (In Chinese). Nanjing: Hohai University Press, 1997. 76~ 79
- [9] 刘兆辉, 聂燕, 刘雅俐. 山东省保护地土壤养分状况及施肥问题. 见: 曹志洪, 等编. 设施农业相关技术. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. 273~ 278. Liu Z H, Nie Y, Liu Y L. Nutrition status and fertilization of vegetable soils in plastics shelter of Shandong Province. In: Cao Z H, et al. eds. Techniques on Greenhouse Agriculture (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999. 273~ 278
- [10] 余海英, 李廷轩, 周健民. 设施土壤次生盐渍化及其对土壤

- 性质的影响. 土壤, 2005, 37(6): 581~ 586. Yu H Y, Li T X, Zhou J M. Second salinization greenhouse soil and its effects on soil properties (In Chinese). Soils, 2005, 37(6): 581~ 586
- [11] 肖千明, 高秀兰, 姜春荣. 保护地蔬菜土壤肥料管理障碍因子及对策研究. 见: 辽宁土壤学会编. 迈向 21 世纪的土壤科学. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1999. 119~ 121. Xiao Q M, Gao X L, Lou C R. Limiting factors of soil and fertilizer management in protected vegetable garden and their countermeasure strategies. In: Liaoning Soil Academic Society ed. Soil Science Approaching the 21st Century (In Chinese). Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1999. 119~ 121
- [12] 肖千明, 高秀兰, 姜春荣. 辽宁省保护地土壤肥力现状分析. 见: 谢建昌, 等编. 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥. 南京: 河海大学出版社, 1997. 52~ 56. Xiao Q M, Gao X L, Lou C R. Analysis of soil fertility of Liaoning protected vegetable garden. In: Xie J C, et al. eds. Vegetable Soil Fertility and Seasonable Fertilization for Vegetable (In Chinese). Nanjing: Hohai University Press, 1997. 52~ 56
- [13] 赵凤艳, 吴凤芝, 刘德. 大棚菜地土壤理化特性的研究. 土壤肥料, 2000(2): 11~ 13. Zhao F Y, Wu F Z, Liu D. Study on greenhouse soil characteristics (In Chinese). Soils and Fertilizers, 2000(2): 11~ 13
- [14] 中国农业科学院土壤肥料研究所. 中国肥料. 上海: 上海科学技术出版社, 1997. Soil and Fertilizer Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences. China Fertilizer (In Chinese). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1997
- [15] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料养分志. 北京: 中国农业出版社, 1999. China Nation Agricultural Technology Extension Service Center. Chinese Organic Fertilizer Nutrient Will (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1999
- [16] 何启伟, 苏德恕, 赵德婉. 山东蔬菜. 上海: 上海科学技术出版社, 1997. He Q W, Su D S, Zhao D W. Shandong Vegetables (In Chinese). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1997
- [17] 张振贤, 于贤昌. 蔬菜施肥原理与技术. 北京: 中国农业出版社, 1996. Zhang Z X, Yu X C. Fertilization Principle and the Technology of Vegetables (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1996
- [18] 中国科学院南京土壤研究所编. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. ed. Analyse of Soil Physics and Chemistry (In Chinese). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978
- [19] 马文奇, 毛达如, 张福锁. 山东省蔬菜大棚养分积累状况. 磷肥与复肥, 2000, 15(3): 65~ 67. Ma W Q, Mao D R, Zhang F S. Nutrients accumulation with in vegetable awning (green house) in Shandong Province (In Chinese). Phosphate & Compound Fertilizer, 2000, 15(3): 65~ 67
- [20] 余海英, 李廷轩, 周健民. 典型设施栽培土壤盐分变化规律及潜在的环境效应研究. 土壤学报, 2006, 43(4): 571~ 576. Yu H Y, Li T X, Zhou J M. Salt in typical greenhouse soil profiles and its potential environmental effects (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(4): 571~ 576

EVOLUTION OF FERTILIZATION RATE AND VARIATION OF SOIL NUTRIENT CONTENTS IN GREENHOUSE VEGETABLE CULTIVATION IN SHANDONG

Liu Zhaohui Jiang Lihua Zhang Wenjun Zheng Fuli Wang Mei Lin Haitao
(Soil and Fertilizer Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 205100, China)

Abstract Shandong Province is the main vegetable producing region in China, with its greenhouse coverage accounting for nearly 50% of the country's. In the period from 1994 to 1997, the mean annual fertilization rate on greenhouse vegetable in Shandong was N 1 351 kg hm⁻², P₂O₅ 1 701 kg hm⁻² and K₂O 539.6 kg hm⁻². In comparison with the application rate in 2004, the application rates of nitrogen and phosphorus fertilizers decreased, but of potassium fertilizer and organic manure increased significantly in 2007. Apparent balance of soil nutrients showed that soil N, P and K was gaining by a large margin. Regardless of high fertilization rates, fertilizer recovery rates were still quite low. The apparent fertilizer recovery rate of nitrogen, phosphorus and potassium was 21.33%, 2.82% and 61.34%, respectively, in greenhouses in Shouguang City in 1997. Soil pH in the greenhouse showed a declining tendency as compared with that in the open field, while the content of organic matter a reverse one. The content of soil available nitrogen varied sharply from area to area, averaging 205.4 mg kg⁻¹, and the content of available P had a similar tendency and averaged 225.2 mg kg⁻¹, showing an obvious build-up effect and an extremely positive relationship with greenhouse age ($r = 0.550^{**}$, $n = 35$). The highest content of available K was up to 369.7 mg kg⁻¹, which also demonstrated an obvious build-up effect. The older the greenhouse, the higher the content of available potassium ($r = 0.502^{**}$, $n = 35$). The content of soluble calcium was 337.9 mg kg⁻¹ in the surface soil, and the content of soluble magnesium was 67.8 mg kg⁻¹. Generally the content of soil trace elements, except boron, in the greenhouse was higher than in the open field, respectively.

Key words Greenhouse vegetable; Soil; Fertilizer application rate; Available nutrient; Trace element