

施肥对青岛市设施蔬菜产量、净产值及土壤环境的影响*

高峻岭¹ 宋朝玉¹ 王玉军² 唐继伟² 孙兆法¹ 张淑霞¹
李祥云¹ 何金明¹

(1. 青岛市农业科学研究院 青岛 266100; 2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 北京 100081)

摘要 为进一步提高设施蔬菜的施肥效率,减少肥料成本和对环境的污染,对青岛市设施蔬菜施肥状况及其对产量、净产值和土壤环境的影响进行了研究。结果表明,设施黄瓜和番茄氮、磷、钾肥施用均明显过量。黄瓜 N、P₂O₅、K₂O 年施用量分别为 1 841.5 kg·hm⁻²、864.0 kg·hm⁻² 和 1 978.7 kg·hm⁻²,番茄 N、P₂O₅、K₂O 年施用量分别为 1 436.7 kg·hm⁻²、833.6 kg·hm⁻² 和 1 643.7 kg·hm⁻²。施肥中有机/无机肥料养分比例较为合理,重视了有机肥的施用。年度施用 N、P₂O₅、K₂O 量及其总量对年度蔬菜产量、净产值有明显影响,存在着线性方程关系。随着年度施氮量的增加,土壤 NO₃⁻-N 含量明显增加,31.4%的农户设施蔬菜田土壤 NO₃⁻-N 含量居高和较高水平。土壤速效磷含量随年度施磷量的增加而增加,74.3%的农户设施蔬菜田土壤速效磷为高水平。68.6%的农户设施蔬菜田土壤为酸性和微酸性,有向酸性发展的趋势。生产中应适量减少氮、磷和钾肥投入,推广测土配方施肥、水肥一体化、秸秆生物处理等技术,促进青岛市设施蔬菜生产的可持续发展。

关键词 青岛 设施蔬菜 施肥量 产量 净产值 土壤环境

中图分类号: S606 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2011)06-1261-07

Effect of fertilization on yield, net income and soil environment in Qingdao protected vegetable production systems

GAO Jun-Ling¹, SONG Chao-Yu¹, WANG Yu-Jun², TANG Ji-Wei², SUN Zhao-Fa¹,
ZHANG Shu-Xia¹, LI Xiang-Yun¹, HE Jin-Ming¹

(1. Qingdao Academy of Agricultural Sciences, Qingdao 266100, China; 2. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract To increase fertilizer use efficiency, reduce fertilizer cost and limit environmental pollution by fertilization, the study on effects of fertilizer application on yield, net income and soil environment in protected vegetable production systems in Qingdao were conducted. The study showed that excessive use of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) fertilizers in tomato and cucumber fields, with N, P₂O₅ and K₂O average annual application rates of 1 841.5 kg·hm⁻², 864.0 kg·hm⁻² and 1 978.7 kg·hm⁻² for cucumber; and 1 436.7 kg·hm⁻², 833.6 kg·hm⁻² and 1 643.7 kg·hm⁻² for tomato, respectively. Organic manure and chemical fertilizers were applied at relatively reasonable rates, suggesting that much attention had been paid to the use of organic manure. Annual N, P₂O₅ and K₂O application rates had significant effects on annual yield and net income. Linear equations adequately explained the relationships of yield, net income with fertilizer application rate in the region. Soil nitrate-N content increased with increasing annual application rate of N. The protected vegetable fields of 31.4% farmer household had high or relatively high nitrate-N contents. Soil available P also increased with increasing annual P₂O₅ application rate. Similarly, 74.3% farmer household' protected vegetable fields had high soil available P content. Protected vegetable soils apparently acidified, 68.6% farmer household' protected vegetable field soil was acid or subacid, showing acidifying tendency. The results suggested that N, P₂O₅ and K₂O application rates should drop. Also new techniques such as computerized fertilization, integrated water-fertilizer managements, bacteria treated straws, soil straw return, etc., should be popularized to ensure the development of sustainable protected vegetable production in Qingdao.

* 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-25-X-XX)资助

高峻岭(1958-),男,研究员,主要从事作物施肥与高产栽培研究。E-mail: qingdaocrop@sina.com

收稿日期: 2010-10-29 接受日期: 2011-05-30

Key words Qingdao, Protected vegetable production, Fertilizer application rate, Yield, Net income, Soil environment

(Received Oct. 29, 2010; accepted May 30, 2011)

青岛市属海洋性气候, 冬季温度相对较高, 适合设施蔬菜的发展, 蔬菜种植是青岛市农民增加收入的重要途径。2008/2009 年全市设施蔬菜面积 $4 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 蔬菜平均单产 $61\ 770 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 单产值 $81\ 060 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$, 总产值 32 亿元。其中日光温室、塑料大棚蔬菜种植面积 $1.6 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 约占设施蔬菜种植面积的 40%, 在温室大棚种植面积中, 黄瓜面积 $0.308 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 番茄面积 $0.417 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。设施蔬菜栽培是人工控制的高投入、高产出农业生态系统。受蔬菜价格和经济效益的影响, 农民在肥水管理上一般是大肥大水。近年国内一些高校和科研院所对我国设施蔬菜施肥进行了调查, 同时对设施内土壤进行了分析测试, 发现我国设施蔬菜普遍存在化肥施用量过大、化肥/有机肥施用比例不合理, 土壤盐化、酸化, 土壤硝态氮超标, 土壤速效磷过高, 土壤养分不协调等问题, 导致蔬菜病虫害加重, 产量下降, 品质降低。既浪费了资源, 又污染了环境, 农民收入受到直接影响^[1-8]。据调查, 青岛市日光温室及大棚黄瓜-番茄种植模式全年 N(包括有机肥中 N 和化肥中 N)施用量平均为 $3\ 278.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, P_2O_5 施用量为 $1\ 698.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, K_2O 施用量为 $3\ 622.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 养分总量达到 $8\ 599.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。农民施肥存在较大的盲目性, 对土壤中养分状况及存在的问题不清楚, 生产中出现了一些影响蔬菜生长的土壤障碍, 如土传病虫害严重, 部分农户出现蔬菜缺素症和盐害, 黄瓜出现枝叶生长繁茂、结果少等现象, 影响到设施蔬菜的产量和品质的提高。如何兼顾经济效益和

环境效益, 在农民取得较高经济效益的同时, 保证菜田土壤不退化和污染, 保持农业可持续发展, 是迫切需要研究的课题。

1 材料与方法

1.1 施肥调查方法

2009 年 7 月对青岛市所辖的即墨市移风店镇、胶州市胶北镇、平度市张戈庄镇、莱西市孙受镇 4 镇 35 户菜农进行了问卷调查和取土化验分析。所调查农户的设施蔬菜主要栽培方式为日光温室, 栽培制度主要为黄瓜-番茄轮作, 土壤类型为黄棕壤、潮土和砂姜黑土。在调查的同时, 每个大棚取 10 点采集 0~20 cm 土壤, 测定土壤 pH、电导率及硝态氮、速效磷、速效钾含量。

1.2 土壤测试方法

土壤盐分用 5:1 水土比、电导仪测定(用土壤浸出液的电导率表示土壤水溶性盐总量)^[9]; 土壤 pH 用 2.5:1 水土比, 酸度计测定^[10]; 土壤硝态氮用 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氯化钾溶液浸提, 双波长紫外分光光度法测定^[9]; 土壤速效磷用 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHCO_3 溶液浸提, 钼锑抗比色法测定^[9]; 土壤速效钾用 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 中性 NH_4OAc 溶液浸提, 原子吸收分光光度计测定^[9]。

1.3 土壤肥力分级标准

菜田土壤盐分分级标准见表 1, 菜田土壤酸碱性分级标准见表 2。黄绍文根据国内外有关文献的报道资料^[11-13], 并根据多年的实践和研究, 初步提出了菜田土壤养分含量分级参考标准^[14](表 3)。

表 1 菜田土壤盐分分级参考标准(土水比 1:5 测定电导率)

		电导率 Electrical conductivity ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)				
		<250	250~600	600~800	800~1 000	$\geq 1\ 000$
等级 Class		无盐度 No salinity	低盐度 Low salinity	中盐度 Medium salinity	高盐度 High salinity	超高盐度 Very high salinity
蔬菜正常生长 EC 临界值为 $600 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ Critical value of soil electrical conductivity for vegetable in normal growth is $600 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$.						

表 2 菜田土壤酸碱性分级参考标准

Table 2 Classes criteria of soil pH in vegetable fields

		pH				
		<4.5	4.5~5.5	5.5~6.5	6.5~7.5	≥ 7.5
等级 Class		强酸性 Strong acidity	酸性 Acidity	微酸性 Weak acidity	中性 Neutrality	碱性 Alkalinity

表 3 菜田土壤养分含量分级参考标准

Table 3 Classes criteria of soil available nutrients contents in vegetable fields

项目 Item	临界值 Critical value	极低 Very low	低 Low	中 Medium	较高 Relatively high	高 High
$\text{NO}_3^- \text{-N}$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	50	<25	25~50	50~100	100~150	≥ 150
速效磷 Available phosphorus ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	50	<25	25~50	50~100	100~150	≥ 150
速效钾 Available potassium ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	150	<100	100~150	150~200	200~300	≥ 300

1.4 养分平衡计算

按照鲁如坤和马文奇等^[1,15]的养分平衡计算法进行计算, N 按 40% 损失计算。

1.5 数据分析

采用 Excel 和 DPS 进行数据整理和分析。

2 结果与分析

2.1 设施黄瓜施肥量与产量概况

由表 4 可以看出, 由于种植季节和上下茬的原因, 青岛市设施黄瓜的施肥量存在较大差异, N 施用量为 249.6~3 815.4 kg·hm⁻², 均值为 1 841.5 kg·hm⁻²; P₂O₅ 施用量为 96.6~1 692.8 kg·hm⁻², 均值为 864.0 kg·hm⁻²; K₂O 施用量为 216.8~5 118.8 kg·hm⁻², 均值为 1 978.7 kg·hm⁻²。产量分布为 37 500.0~337 500.0 kg·hm⁻², 均值为 210 082.1 kg·hm⁻²。从施肥状况看, 施肥不足和过量施肥同时存在。

据研究, 每生产 1 000 kg 黄瓜吸收的 N、P₂O₅、K₂O 量分别为 2.8 kg、1.5 kg、4.2 kg, 按此计算每生产 210 082 kg 黄瓜, 应吸收 N 588.2 kg、P₂O₅ 315.1 kg、K₂O 882.3 kg。按照鲁如坤和马文奇等^[1,15]养分平衡计算办法, N 盈亏: N=1 841.5-588.2-736.6=516.7 kg·hm⁻², P₂O₅ 盈亏: P₂O₅=864.0-315.1=

544.9 kg·hm⁻², K₂O 盈亏: K₂O=1 978.7-882.3=1 096.4 kg·hm⁻²。从 N、P₂O₅、K₂O 盈亏来看, N、P₂O₅ 和 K₂O 均明显过量。

N、P₂O₅、K₂O 的有机与无机肥料养分比例分别为 2.1、1.1 和 0.8, 表明青岛市设施黄瓜的种植比较重视有机肥的施用, 有机无机肥料养分比例相对合理。N、P₂O₅、K₂O 的基/追比分别为 3.7、3.6、2.4。从肥料的性质和蔬菜养分需求分析, 氮肥的基/追比偏高, 应加强中后期追肥, 减少氮肥基肥施用的比例^[16-17]。

2.2 设施番茄施肥量与产量概况

从表 4 可看出, 由于茬口和种植水平的差异, 设施番茄的产量存在较大差异, 产量区间为 79 950~375 000 kg·hm⁻², 平均值为 187 137 kg·hm⁻²。N 施用量为 334.4~3 892.7 kg·hm⁻², 平均为 1 436.7 kg·hm⁻²; P₂O₅ 施用量为 180.9~2 718.8 kg·hm⁻², 平均为 833.6 kg·hm⁻²; K₂O 施用量为 264.5~4 687.5 kg·hm⁻², 平均为 1 643.7 kg·hm⁻²。

据测算每生产 1 000 kg 番茄, N、P₂O₅、K₂O 吸收量分别为 2.0 kg、1.0 kg、3.9 kg。据此计算, 生产 187 137 kg 番茄, 应吸收 N 374.3 kg、P₂O₅ 187.1 kg、K₂O 729.8 kg。设施番茄的养分盈亏计算: N=1 437.0-

表 4 青岛市设施蔬菜施肥及产量和产值调查统计表
Table 4 Fertilizer application characters, yield and income of the protected vegetables in Qingdao City

蔬菜 Vegetable	项目 Item	均值 Mean	最大值 Maximum value	最小值 Minimum value	变异系数 CV (%)	
黄瓜 Cucumber	产量 Yield (kg·hm ⁻²)	210 082.1	337 500.0	37 500.0	46	
	净产值 Net income (Yuan·hm ⁻²)	410 061.4	675 000.0	63 000.0	51	
	总施肥量 Fertilizer application rate (kg·hm ⁻²)	N	1 841.5	3 815.4	249.6	56
		P ₂ O ₅	864.0	1 692.8	96.6	58
		K ₂ O	1 978.7	5 118.8	216.8	61
	基/追养分比例 Ratio of basal application to top-dressing	N	3.7	15.5	0	133
		P ₂ O ₅	3.6	13.9	0	113
		K ₂ O	2.4	9.3	0	123
	有机/无机肥料养分比例 Ratio of nutrient in organic manure and chemical fertilizer	N	2.1	10.1	0	142
		P ₂ O ₅	1.1	4.2	0	126
K ₂ O		0.8	3.5	0	142	
番茄 Tomato	产量 Yield (kg·hm ⁻²)	187 136.8	375 000.0	79 950.0	43	
	净产值 Net income (Yuan·hm ⁻²)	357 012.6	750 000.0	150 000.0	40	
	总施肥量 Fertilizer application rate (kg·hm ⁻²)	N	1 436.7	3 892.7	334.4	66
		P ₂ O ₅	833.6	2 718.8	180.9	71
		K ₂ O	1 643.7	4 687.5	264.5	77
	基/追养分比例 Ratio of basal application to top-dressing	N	2.8	7.5	0	76
		P ₂ O ₅	5.9	20.3	0	107
		K ₂ O	5.8	24.2	0	122
	有机/无机肥料养分比例 Ratio of nutrient in organic manure and chemical fertilizer	N	1.1	5.5	0	136
		P ₂ O ₅	1.7	16.2	0	232
K ₂ O		0.3	1.0	0	88	

黄瓜的样本数为 21, 番茄的样本数为 19。Samples number of cucumber and tomato is 21 and 19 respectively.

374.3-574.8=487.9 kg·hm⁻², P₂O₅=834.0-187.1= 646.9 kg·hm⁻², K₂O=1 644.0-729.8=914.2 kg·hm⁻²。从 N、P₂O₅、K₂O 盈亏看, 根据施肥量和理论需要量分析, 设施番茄的 N、P₂O₅ 和 K₂O 施用量均明显偏高。

设施番茄的有机与无机肥料养分比例 N、P₂O₅、K₂O 分别为 1.1、1.7 和 0.3, 表明青岛市施肥的设施番茄种植施用有机肥较多, 有机无机肥料养分比例相对比较合理。设施番茄 N、P₂O₅、K₂O 的基/追比分别为 2.8、5.9 和 5.8, P₂O₅ 的基/追比较为合理, 应适当减少 N、K₂O 的基/追比, 加强中后期的追肥, 从而减少氮肥和钾肥的淋洗和流失^[16-17]。

从黄瓜+番茄全年养分平衡看, N=516.9+478.2=1 004.1 kg·hm⁻², P₂O₅=675+647=1 322 kg·hm⁻², K₂O=-100.3+409.5=309.2 kg·hm⁻²。年度 N、P₂O₅、K₂O 施用量都偏高。

2.3 年度氮肥用量对蔬菜产量、净产值和土壤 NO₃⁻-N 的影响

施肥是影响蔬菜产量的主要因素, 对黄瓜-番茄种植模式来讲, 年度施 N 量与年度蔬菜产量、净产值之间均具有较好的相关性。

从图 1 可以看出蔬菜年度产量与年度施 N 量之间的方程为:

$$\hat{Y} = -8E-07x^2 + 0.009 6x + 11.965 \quad (1)$$

方程检验 $F=5.94, P=0.007 3$ ($P<0.01$ 为极显著, $0.01<P<0.05$ 为显著, 下同), 方程回归检验极显著, 表明方程式成立, 年度施 N 量对年度黄瓜-番茄的产量具有明显影响。从图 1 可看出, 施 N 量与产量之间的关系类似抛物线, 当施 N 量达到一定量 (5 921.3 kg·hm⁻²) 后, 其产量有所减少。年度施 N 量大多集中于 600~3 750 kg·hm⁻² 之间, 在此施 N 量内对黄瓜-番茄全年产量仍有一定的增产作用。

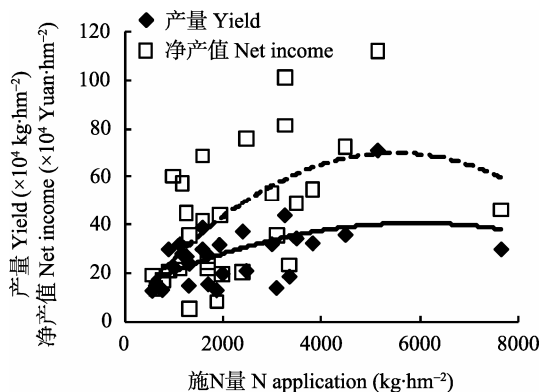


图 1 年度 N 施用总量与蔬菜产量、净产值的关系
Fig. 1 Relationships between annual total N application rate and annual yield and net income of vegetables

年度蔬菜(黄瓜-番茄)净产值与施 N 量之间的方程式为:

$$\hat{Y} = -2E-06x^2 + 0.023 9x + 4.835 \quad (2)$$

方程检验 $F=8.14, P=0.001 7$, 方程回归检验极显著, 表明方程成立, 年度施 N 量对年度黄瓜-番茄的净产值有明显影响。从图 1 可看出, 施 N 量与净产值之间的关系类似抛物线。由于施肥量增加了成本, 当施 N 量大于 5 481.4 kg·hm⁻² 时, 出现增产不增收的现象。虽然年度施 N 量对黄瓜-番茄产量有一定的增产作用, 但过量施氮导致土壤 NO₃⁻-N 过高, 从而影响蔬菜品质和污染环境。

据分析, 土壤 NO₃⁻-N 和全年施 N 量之间存在线性关系:

$$\hat{Y} = 7E-06x^2 - 0.001 6x + 57.148 \quad (r=0.499 4^*) \quad (3)$$

方程检验 $F=4.15, P=0.028$, 方程回归检验显著, 这与李文庆等^[18]的研究相吻合。

试验证明, 蔬菜硝酸盐含量与土壤中的 N 素, 特别是 NO₃⁻-N 量及 N 素化肥施用量呈正相关。已被证明, 硝酸盐在动物体内经微生物的作用极易还原成亚硝酸盐。而亚硝酸盐是一种有毒物质, 可直接使动物中毒缺氧, 严重者可致死。更有甚者, 亚硝酸盐能和胃中的含氮化合物结合, 形成强致癌物质亚硝胺^[19]。

一般认为(表 3), 土壤 NO₃⁻-N 的临界值为 50 mg·kg⁻¹。从图 2 可以看出, 当施 N 量增加后会提高土壤 NO₃⁻-N 含量。所以有必要进行氮肥的适宜用量长期试验, 从而达到增产增收和保护环境的目。

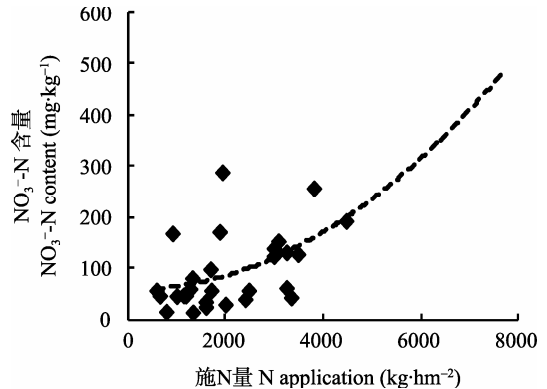


图 2 设施菜田年度施 N 总量与土壤 NO₃⁻-N 的关系
Fig. 2 Relationships between annual total N application rate and soil NO₃⁻-N content in protected vegetable fields

2.4 年度 P₂O₅ 施用量对蔬菜产量、净产值和土壤速效磷的影响

一般认为, 在黄瓜-番茄对 N、P₂O₅、K₂O 3 种养分的需求中, P₂O₅ 占的比例较低。而生产上大多菜农仍较多施用 P₂O₅。据计算, 在青岛市目前施 P₂O₅ 情况下, 年度黄瓜-番茄产量与年度施 P₂O₅ 量之间具有较好的相关性(图 3)。随着施 P₂O₅ 量的增加, 年度黄瓜-番茄产量随之提高, 二者方程式为:

$$\hat{Y} = 1E-06x^2 + 0.003 8x + 20.744 \quad (4)$$

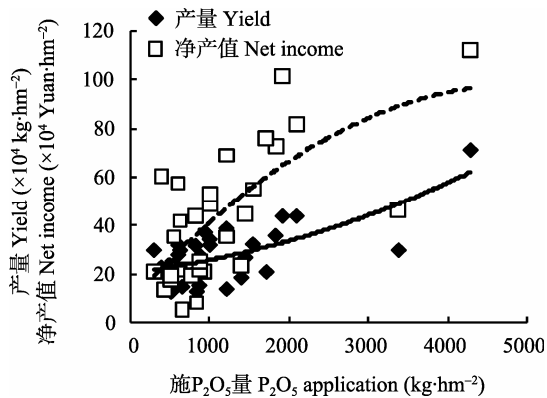


图 3 年度 P₂O₅ 施用总量与蔬菜产量、净产值的关系
Fig. 3 Relationships between annual total P₂O₅ application rate and annual yield and net income of vegetables

方程检验 $F=11.91, P=0.000\ 2$, 方程回归检验极显著。

年度净产值与施 P₂O₅ 量间的方程式为:

$$\hat{Y} = -4E-06x^2 + 0.035\ 9x + 9.340\ 2 \quad (5)$$

方程检验 $F=15.46, P=0.000\ 034$, 方程回归检验极显著。表明随着年度施 P₂O₅ 量的增加, 年度黄瓜-番茄净产值随之增加。施 P₂O₅ 不仅影响蔬菜产量和净产值, 而且随施 P₂O₅ 量的增加, 土壤速效磷含量明显提高(图 4), 二者方程式为:

$$\hat{Y} = -2E-05x^2 + 0.142\ 1x + 104.97 \quad (6)$$

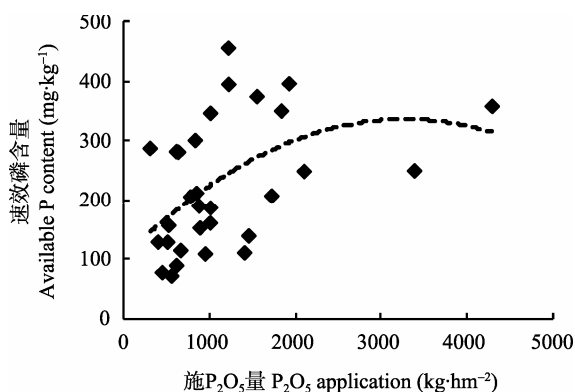


图 4 菜田年度施 P₂O₅ 总量与土壤速效磷的关系
Fig. 4 Relationships between annual total P₂O₅ application rate and soil available P content in protected vegetable fields

方程检验 $F=3.90, P=0.032$, 方程回归检验显著。

土壤速效磷含量的提高, 一方面提高了土壤肥力, 另一方面由于土壤中离子的竞争、拮抗会影响到同类型离子的吸附和释放, 容易导致缺素症^[20]。在土壤速效磷含量提高后, 如何适当减少 P₂O₅ 的施用, 充分利用土壤中的 P, 减少肥料成本, 有待进一步布置 P₂O₅ 肥适宜用量试验进行研究。

2.5 年度施 K₂O 量对年度黄瓜-番茄产量、净产值的影响

黄瓜、番茄是需钾较多的蔬菜, 青岛市属土壤缺钾

地区, 施 K₂O 对黄瓜-番茄产量-产值具有明显影响(图 5), 年度黄瓜-番茄产量与年度施 K₂O 量的方程式为:

$$\hat{Y} = 4E-07x^2 + 0.000\ 2x + 23.765 \quad (7)$$

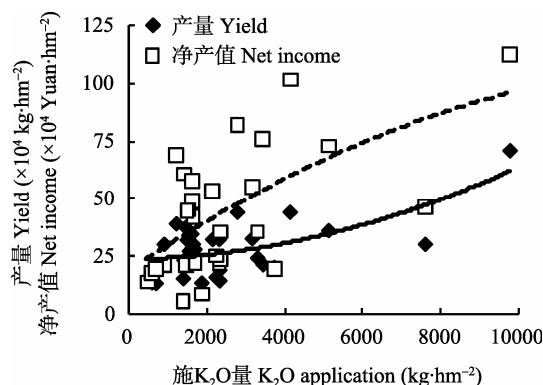


图 5 年度 K₂O 施用总量与蔬菜产量、净产值的关系
Fig. 5 Relationships between annual total K₂O application rate and annual yield and net income of vegetables

方程检验 $F=9.2, P=0.000\ 9$, 方程回归检验极显著。

年度黄瓜-番茄净产值与年度施 K₂O 量的方程式为:

$$\hat{Y} = -4E-07x^2 + 0.011\ 3x + 18.788 \quad (8)$$

方程检验 $F=9.72, P=0.000\ 66$, 方程回归检验极显著。

以上分析表明, 在青岛地区黄瓜-番茄要重视钾肥的应用。据分析, 土壤速效钾含量与全年施 K 量相关不显著, 表明施入的 K₂O 主要被蔬菜吸收或淋失, 残留在土壤中的速效钾并不随施 K₂O 量的增加而增加。只有及时定量施入 K₂O, 才能满足蔬菜生长发育的需求。

2.6 年度施用养分总量对年度黄瓜-番茄产量、净产值的影响

与 N、P₂O₅、K₂O 施用量对黄瓜-番茄产量、产值的影响相一致, 年度施用养分总量对黄瓜-番茄全年产量、净产值有明显影响(图 6)。全年黄瓜-番茄产量与年度施用养分总量的方程式为:

$$\hat{Y} = 7E-10x^2 + 0.001\ 8x + 17.295 \quad (9)$$

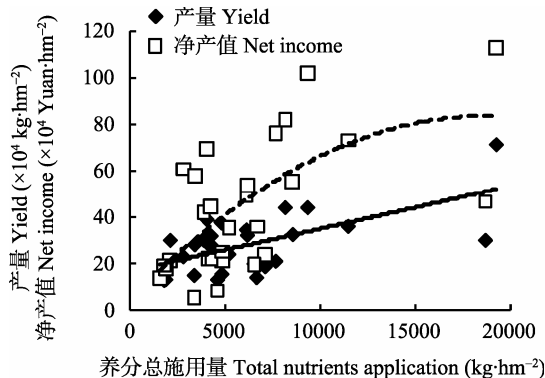


图 6 年度施用养分总量与年度蔬菜产量、净产值的关系
Fig. 6 Relationships between annual total nutrient application rate and annual yield and net income of vegetables

方程检验 $F=8.18$, $P=0.0017$, 方程回归检验极显著。

全年黄瓜-番茄净产值与施肥总量的方程式为:

$$\hat{Y} = -2E-07x^2 + 0.0084x + 5.0023 \quad (10)$$

方程检验 $F=11.86$, $P=0.0002$, 方程回归检验极显著。

以上分析可以看出, 施肥对设施蔬菜产量、净产值有明显影响。从图 2、4、6 中同时看出, 生产中存在施肥量较大的问题, 特别是 N、 P_2O_5 的过量施用, 导致土壤 NO_3^- -N 和速效磷的积累与富集, 导致环境恶化和影响其他离子的吸收。

2.7 施肥对土壤盐分和 pH 的影响

土壤电导率分布在 $111.3 \sim 774.0 \mu S \cdot cm^{-1}$, 平均为 $309.3 \mu S \cdot cm^{-1}$ 。从水平分级看, 51.4% 属低盐度, 42.9% 属无盐度。从分析来看, 青岛市设施蔬菜土壤盐渍化现象不严重, 这可能与较多施用有机肥有关,

增加了土壤有机质, 改善了土壤结构; 增加了土壤透水性, 加速了土壤洗盐, 抑制了土壤盐分的表聚^[21]。同时土壤盐分与季节相关性较大, 试验土壤取于 7 月份, 正是盐分较低的月份, 由于揭膜和降雨的影响, 导致土壤盐分淋洗到地下水和中下土层中。

研究表明, 土壤显强酸性 ($pH < 5$) 时会直接破坏植物根系的生理机能, 降低土壤中 P、Ca、Mg 等元素的有效性, 诱发缺素症, 抑制微生物活性, 出现蔬菜生长不良、早衰甚至死亡, 从而影响产量和品质^[22]。从表 5 和表 6 可看出, 青岛设施蔬菜土壤 pH 分布在 4.5~7.4 之间, 平均为 6.1。从水平分级来看, 45.7% 地块属微酸性, 22.9% 属酸性, 31.4% 属中性, 酸性和微酸性占 68.6%。表明青岛市设施蔬菜土壤有向酸性发展的趋势, 应引起重视。据研究, 过多施用氮肥, 特别是酸性氮肥, 易导致土壤氮素浓度过高, 土壤 pH 下降, 产生蔬菜的多种生理障碍^[20]。

表 5 青岛市设施蔬菜田土壤盐分和 pH 分析
Table 5 Soil salinity and pH in protected vegetable fields in Qingdao City

项目 Item	均值 Mean	最大值 Maximum value	最小值 Minimum value	变异系数 CV (%)
电导率 Soil electrical conductivity ($\mu S \cdot cm^{-1}$)	309.3	774.0	111.3	51.8
pH	6.1	7.4	4.5	12.4

表 6 青岛市设施蔬菜田土壤盐分和 pH 水平统计表

Table 6 Distribution frequency of different classes of soil salinity and pH in protected vegetable fields in Qingdao City

盐分 Salt	级别 Class	无盐度 No salinity	低盐度 Low salinity	中盐度 Medium salinity	高盐度 High salinity	超高盐度 Very high salinity
	分布频率 Distribution frequency (%)		42.9	51.4	5.7	0
pH	级别 Class	强酸性 Strong acidity	酸性 acidity	微酸性 Weak acidity	中性 Neutrality	碱性 Alkalinity
	分布频率 Distribution frequency (%)		0	22.9	45.7	31.4

土壤样品数为 35 Thirty five soil samples were collected.

3 结论

根据农户调查、土壤测试和养分平衡计算, 青岛市设施黄瓜和番茄每茬 N、 P_2O_5 、 K_2O 施用量都偏高; 按全年黄瓜-番茄计算, N、 P_2O_5 和 K_2O 施用量也偏高。

根据调查和计算, 年度施用 N、 P_2O_5 、 K_2O 各自养分量和总量对年度黄瓜-番茄产量和净产值有明显影响, 存在线性方程关系。年度施 N 量对年度黄瓜-番茄产量、净产值的影响类似抛物线, N 肥施用量过大, 会造成产量和净产值下降。

年度施 N 量对土壤 NO_3^- -N 含量有明显影响, 31.4% 的农户设施菜田土壤 NO_3^- -N 含量为较高和高水平, 年度施 P_2O_5 量对土壤速效磷有明显影响, 74.3% 的农户设施菜田土壤速效磷为高水平, 68.6% 的农户设施菜田土壤为酸性和微酸性, 有向酸性发展的趋势。

青岛市设施蔬菜生产中, 应加大有机肥投入, 特别是秸秆等 C/N 比高的有机肥的投入, 适当减少 N、 P_2O_5 养分投入, 推广测土配方施肥、水肥一体化、秸秆生物处理等先进技术, 促进青岛市设施蔬菜生产的可持续发展。

参考文献

- [1] 马文奇, 毛达如, 张福锁. 山东省蔬菜大棚养分积累状况[J]. 磷肥与复肥, 2003, 15(3): 65-67
- [2] 姚春霞, 郭开秀, 赵志辉, 等. 减量施肥对三种蔬菜硝酸盐含量、营养品质和生理特性的影响[J]. 水土保持学报, 2010(4): 153-156
- [3] 郭俊伟, 郭俊龙. 蔬菜日光温室施肥与土壤养分状况研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(13): 243-246
- [4] 张玉凤, 董亮, 刘兆辉, 等. 不同肥料用量和配比对西瓜产量、品质及养分吸收的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(4): 765-769

- [5] 袁丽金, 巨晓棠, 张丽娟, 等. 设施蔬菜土壤剖面氮磷钾积累及对地下水的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 14-19
- [6] 郭文龙, 当菊秀, 吕家珑, 等. 不同年限蔬菜大棚土壤性质演变与施肥问题的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 84-89
- [7] 李俊良, 崔德杰, 孟祥霞, 等. 山东寿光保护地蔬菜施肥现状及问题的研究[J]. 土壤通报, 2002, 33(2): 126-128
- [8] 史春余, 张夫道, 张俊清, 等. 长期施肥条件下设施蔬菜地土壤养分变化研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 437-441
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 1999
- [10] 中华人民共和国农业部. 土壤中 pH 值的测定(NY/T1377-2007)[S]. 2007-09-01
- [11] 张乃明, 常晓冰, 秦太峰. 设施农业土壤特性与改良[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008
- [12] 章永松, 倪吾钟, 林咸永, 等. 杭州市郊菜园土壤的有效养分状况与施肥对策[M]//谢建昌, 陈际型, 等. 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥. 南京: 河海大学出版社, 1997: 43-46
- [13] 肖千明, 高秀兰, 娄春荣, 等. 辽宁省保护地土壤肥力现状分析[M]//谢建昌, 陈际型, 等. 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
- [14] 高峻岭, 宋朝玉, 黄绍文, 等. 青岛市设施蔬菜施肥现状与土壤养分状况[J]. 山东农业科学, 2011(3): 68-72
- [15] 鲁如坤, 刘鸿翔, 闻大中, 等. 我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究. . 农田养分支出参数[J]. 土壤通报, 1996, 27(4): 145-151
- [16] 孙羲. 作物营养与施肥[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [17] 于谦林. 出口创汇蔬菜生产新技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003
- [18] 李文庆, 张民, 李海峰, 等. 大棚土壤硝酸盐状况研究[J]. 土壤学报, 2002, 39(2): 283-287
- [19] 徐坤, 范国强, 徐怀信. 绿色食品蔬菜生产技术全编[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002
- [20] 葛晓光. 设施蔬菜栽培的土壤障碍及克服途径[J]. 中国蔬菜, 2000(S1): 16-19
- [21] 严慧峻, 魏由庆, 刘继芳, 等. 洼涝盐渍土“淡化肥沃层”的培育与功能的研究[J]. 土壤学报, 1994, 31(4): 413-421
- [22] 葛晓光, 高慧, 张思平, 等. 长期施肥条件下菜田-蔬菜生态系统变化的研究. . 蔬菜生态系统的变化[J]. 园艺学报, 2004, 31(5): 598-602