

温室生态经济系统的氮、磷、钾营养物质流动

李冬生^{1,2}, 李萍萍², 王纪章², 赵青松²

(1. 南华大学 经济管理学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 江苏大学 现代农业装备与技术省部共建重点实验室, 江苏 镇江 212013)

摘要:为了研究温室生态经济系统氮、磷、钾营养物质流动规律,以“津优1号”黄瓜和意大利耐抽苔生菜为试材,在江苏大学农业工程研究院实验温室进行了基于配方施肥的“黄瓜—生菜—黄瓜—生菜”一年四茬复种试验。结果表明:作物对氮、磷、钾的吸收比例分别为56.04%、55.48%、42.40%,对氮、磷、钾的损失率分别达到40.38%、31.18%、56.17%。

关键词:温室;氮、磷、钾;物质流动

中图分类号:S 625 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2011)16-0069-04

物质流动是温室生态经济系统的主要功能之一。物质在温室生态经济系统中起着双重作用,既是维持生命活动的物质基础,又是能量的载体。温室生态经济系统的运行需要多种营养物质,其中氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)营养元素的流动在温室生态经济系统占据重要地位。温室作物对氮、磷、钾等元素的吸收利用程度,影响植株的正常生长发育、产量和品质,决定温室生产力水平的高低,研究温室作物氮、磷、钾等元素

流动特点具有重要意义。

国内外学者对温室作物氮、磷、钾等营养元素的吸收利用特点作了大量的研究,研究的温室作物包含黄瓜^[1-5]、番茄^[1,6-11]、生菜^[12]与其它^[1,13-14]作物。但是,对温室作物周年种植过程中氮、磷、钾的流动特点鲜有报道。现以试验温室黄瓜、生菜四茬复种方式为研究对象,探讨温室作物氮、磷、钾的周年流动特点。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

于2008年3月至2009年3月在江苏大学农业工程研究院实验温室内进行,该温室为玻璃自控温室。栽培方式为槽式土培,土培槽的纵切面为矩形,槽高31 cm,槽宽为64 cm,槽长17.4 m,槽间距63 cm。温室内的环境调控,夏季采用湿帘、风机降温,但冬季不加温。采用“黄瓜—生菜—黄瓜—生菜”一年四茬的复

第一作者简介:李冬生(1971-),男,湖南衡阳人,博士,副教授,现主要从事温室生态系统工程方面的研究工作。

责任作者:李萍萍(1956-),女,浙江宁波人,博士,教授,博士生导师,现主要从事农业生态工程方面的研究工作。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30771259);湖南省2010年省级科技计划资助项目(2010FJ3163)。

收稿日期:2011-05-20

[2] 刘明池. 亏缺灌溉对樱桃番茄产量和品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2002(6):4-6.

[3] 王丽娟. 水分亏缺处理对番茄果实品质及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(9):4499-4500.

[4] 齐红岩. 亏缺灌溉对设施栽培番茄物质分配及果实品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2004(2):10-12.

[5] 刘明池. 亏缺灌溉对草莓生长和果实品质的影响[J]. 园艺学报, 2001, 28(4):307-311.

[6] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社, 2007.

[7] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 北京:世界图书出版公司, 2000.

Effect of Different Irrigation Amount on Plant Growth and Fruit Quality of Cherry Tomato in the Greenhouse

ZHOU Yun, GAO Yan-ming, LI Jian-she

(College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: Through control the soil moisture at the different levels by controlling the irrigation amount of per day per plant under soil and matrix cultivated way to study on the effect of water stress had on the plant growth and fruit quality. The results showed that plant height, stem diameter, leaf area, fruit weight and yeild gradually decreased with the increase of ater stress. The watter stress inceased the soluble solid content, soluble solid-acid rations, the content of vitamin C and the total sugar content. The water stress also inceased water productivity.

Key words: cherry tomato; water stress; fruit quality

种方式,黄瓜和生菜定植实验温室栽培土槽内,黄瓜每槽 2 行,每行 50 株,株距 33 cm,折合密度 5.5 株/m²,共定植 3 槽。生菜株行距为 20 cm×25 cm,每槽 4 行,

每行约 80 株,折合密度 16.7 株/m²。各茬口具体栽培时期见表 1^[15]。

表 1 试验温室黄瓜—生菜四茬复种方式各茬口栽培时期

茬次	播种期	定植日	拉秧期或收获期	播种-拉秧期或收获期天数/d	定植-拉秧期或收获期天数/d
春、夏茬黄瓜	2008-03-09	2008-04-14	2008-07-13	126	90
夏茬生菜	2008-06-20	2008-07-15	2008-08-19	60	35
秋、冬茬黄瓜	2008-08-02	2008-08-21	2008-12-27	147	128
冬、春茬生菜	2008-10-10	2009-01-01	2009-02-28	140	59

1.2 施肥概况

各茬口根据养分平衡法计算的结果进行施肥。各茬口土壤基础养分含量见表 2。黄瓜按每 100 kg 果实吸收 N 290 g、P₂O₅ 100 g 和 K₂O 400 g^[16] 计算,生菜按每 100 kg 果实吸收 N 253 g、P₂O₅ 120 g 和 K₂O 450 g^[17] 计算,各茬口目标产量见表 3。春夏茬黄瓜、秋冬茬黄瓜于定植前每 667 m² 各施猪粪肥 2 500 kg,夏茬生菜和冬、春茬生菜不施有机肥,无机肥施用量根据养分平衡法^[16] 进行计算。猪粪肥养分含量分别为 N 0.56%、P₂O₅ 0.4%、K₂O 0.44%、有机质 15%^[18]。经计算得出各茬口施用有机肥和无机肥中的速效养分见表 4。

表 2 各茬口定植前土壤养分含量

土壤养分含量 /mg·kg ⁻¹	春、夏茬黄瓜 定植前	夏茬生菜 定植前	秋、冬茬黄瓜 定植前	冬、春茬生菜 定植前
N	76.2	102.6	68.1	133.1
P ₂ O ₅	27.57	61.71	40.83	80.62
K ₂ O	89.55	114.27	70.04	128.41

表 3 温室黄瓜—生菜四茬复种方式各茬口目标产量

茬口	春、夏茬黄瓜	夏茬生菜	秋、冬茬黄瓜	冬、春茬生菜
667 m ² 目标产量/kg	9 000	3 250	11 200	3 600

表 4 温室黄瓜—生菜四茬复种方式各茬口施肥的养分含量

名称	667 m ² 无机肥/kg	667 m ² 有机肥/kg
氮(N)	春、夏茬黄瓜	17.81
	夏茬生菜	0.84
	秋、冬茬黄瓜	23.8
	冬、春茬生菜	2.4
磷(P ₂ O ₅)	春、夏茬黄瓜	4.85
	夏茬生菜	0.2
	秋、冬茬黄瓜	5.76
	冬、春茬生菜	0.93
钾(K ₂ O)	春、夏茬黄瓜	20.85
	夏茬生菜	0.91
	秋、冬茬黄瓜	30.31
	冬、春茬生菜	9.2

1.3 试验材料

供试黄瓜品种为“津优 1 号”(天津黄瓜研究所提供),供试生菜品种为意大利耐抽苔生菜(广州惠研园艺种苗有限公司提供)。

1.4 试验方法

1.4.1 鲜重与产量 黄瓜分别于定植 10 d 后每隔 10 d

采样一次,每次随机取 3 株。以单株为单位,分别收集植株各生长阶段的根、茎、叶、花、果等不同器官的样品,果实样品于各取样日以单株编号采集,累计计量,黄瓜产量分别按每茬计产和单株计产同时进行。生菜于定植后 10 d 开始取样,以后每间隔 5 d 取 1 次,每次随机取 3 株,以单株为单位分别收集生菜根、茎、叶等部位的样品。采集的数据用 Excel 进行处理。每次采收时记载果实数和果实产量,最后折算为每 667 m² 产量。

1.4.2 灌溉用水量 灌溉水为自来水,采用软管浇灌。水中养分含量为全 N 0.79 mg/kg、P₂O₅ <0.001 mg/kg、K₂O 1.93 mg/kg。计量各茬口各次灌溉用水量并汇总。

1.4.3 干重 黄瓜和生菜样品均于采集洗涤后立即置于 110℃ 电热烘干箱中杀青 20 min 后,于 75℃ 烘至恒重并称量,测得其干重,3 次重复取均值。

1.4.4 营养元素的测定 N 元素含量用凯氏定氮法,P 元素含量用比色法,K 元素含量用火焰光度法。

2 结果与分析

2.1 氮素流动特征及吸收利用率

2.1.1 输入特征 根据试验,计算出玻璃自控温室黄瓜—生菜四茬复种方式中各茬口及周年的氮流动,从表 5 可看出,该复种方式周年氮输入中,无机肥的所占比例最大,为 61.21%,其次为有机肥的 38.22%,灌溉水输入氮最少,仅为 0.57%。

2.1.2 肥料利用效率 复种方式每 667 m² 周年氮输入量为 73.26 kg,每 667 m² 作物吸收量为 41.06 kg,肥料利用效率为 56.04%。黄瓜的 2 个茬口中,每 667 m² 秋、冬茬黄瓜对氮吸收量为 19.18 kg,高于春夏茬黄瓜 16.71 kg;而春、夏茬黄瓜对氮的吸收利用率为 52.28%,高于秋、冬茬的 50.54%。生菜的 2 个茬口中,每 667 m² 冬、春茬生菜对氮吸收量为 3.05 kg,高于夏茬的 2.12 kg。

2.1.3 肥料残留土壤中的比率和损失比率 每 667 m² 土壤氮素期末含量为 14.05 kg,高于期初的 11.43 kg,每 667 m² 周年土壤氮素增加了 2.62 kg,氮素土壤残留量为输入量的 3.58%。周年氮输出中,每 667 m² 通过灌溉流失、挥发、硝化和反硝化作用而损失的氮为 29.58 kg,占了 40.38%。

表 5 温室黄瓜—生菜四茬复种方式 N(全氮)的输入和输出

项目	类 别	春夏茬黄瓜	夏茬生菜	秋冬茬黄瓜	冬春茬生菜	周年	比例/%
667 m ² 输入	无机肥/kg	17.81	0.84	23.80	2.40	44.84	61.21
	有机肥/kg	14.00	0.00	14.00	0.00	28.00	38.22
	灌溉水/kg	0.15	0.06	0.16	0.05	0.42	0.57
	小计/kg	31.96	0.89	37.95	2.45	73.26	100
667 m ² 输出	作物吸收/kg	16.71	2.12	19.18	3.05	41.06	56.04
	损失/kg	11.29	3.95	9.03	5.32	29.58	40.38
	土壤元素变动/kg	3.96	(5.18)	9.75	(5.92)	2.62	3.58
	其中:期初	11.43	15.39	10.22	19.97	11.43	-
	期末	15.39	10.22	19.97	14.05	14.05	-

2.2 速效磷流动特征及吸收利用率

2.2.1 输入特征 根据试验计算出黄瓜—生菜四茬复种方式各茬口及周年磷流动情况(表 6)。该系统每 667 m² 周年 P₂O₅ 输入量为 31.74 kg, 大部分为有机磷, 达到 63.02%, 无机肥占 36.98%, 灌溉水带入的磷极少, 可以忽略不计。

2.2.2 肥料利用效率 从全年看, 每 667 m² 作物吸收 P₂O₅ 共为 17.61 kg, 占总输出的 55.48%, P₂O₅ 的利用

率很高。每 667 m² 秋冬茬黄瓜吸收量最高, 为 8.23 kg; 每 667 m² 夏茬生菜最低, 为 0.82 kg。

2.2.3 肥料残留土壤中的比率和损失的比率 从全年看, 每 667 m² 土壤 P₂O₅ 含量从期初的 4.14 kg 增加到期末的 8.37 kg, 增加了 4.23 kg, 土壤残留量为输入量的 13.34%。周年 P₂O₅ 输出中, 每 667 m² 损失的 P₂O₅ 为 9.90 kg, 占了 31.18%。

表 6 温室黄瓜—生菜四茬复种方式 P₂O₅ 的输入和输出

项目	类 别	春、夏茬黄瓜	夏茬生菜	秋、冬茬黄瓜	冬、春茬生菜	周年	比 例/%
667 m ² 输入	无机肥/kg	4.85	0.20	5.76	0.93	11.74	36.98
	有机肥/kg	10.00	0	10.00	0	20.00	63.02
	小计/kg	14.85	0.20	15.76	0.93	31.74	100
	作物吸收/kg	7.14	0.82	8.23	1.41	17.61	55.48
667 m ² 输出	损失/kg	2.59	2.51	1.56	3.24	9.90	31.18
	土壤元素变动/kg	5.12	(3.13)	5.97	(3.72)	4.23	13.34
	其中:期初	4.14	9.26	6.12	12.09	4.14	-
	期末	9.26	6.12	12.09	8.37	8.37	-

2.3 速效钾流动特征及吸收利用率

2.3.1 输入特征 黄瓜—生菜四茬复种方式各茬口及周年钾流动情况见表 7。从全年看, 每 667 m² K₂O 投入最大的为无机肥, 为 61.28 kg, 占总输入的 72.70%, 其次为有机肥的 22.00 kg, 灌溉水最少, 仅为 1.02 kg。

2.3.2 肥料利用效率 该系统周年对钾的吸收利用

率为 42.40%, 总的来说, 黄瓜对钾吸收利用量要高于生菜。黄瓜的 2 个茬口中, 每 667 m² 秋、冬茬黄瓜对氮吸收量为 20.05 kg 与 48.08%, 每 667 m² 高于春、夏茬黄瓜的 12.24 kg。生菜的 2 个茬口中, 每 667 m² 冬、春茬生菜对氮吸收量为 1.99 kg, 高于夏茬的 1.64 kg, 2 个茬口生菜差别并不大。

表 7 温室黄瓜—生菜四茬复种方式 K₂O 的输入和输出

项目	类 别	春、夏茬黄瓜	夏茬生菜	秋、冬茬黄瓜	冬、春茬生菜	周年	比 例/%
667 m ² 输入	无机肥/kg	20.85	0.91	30.31	9.20	61.28	72.70
	有机肥/kg	11.00	0.00	11.00	0.00	22.00	26.10
	灌溉水/kg	0.37	0.14	0.39	0.13	1.02	1.21
	小计/kg	32.22	1.05	41.70	9.33	84.30	100
667 m ² 输出	作物吸收/kg	12.24	1.64	20.05	1.99	35.74	42.40
	损失/kg	16.27	6.04	12.90	11.96	47.35	56.17
	土壤元素变动/kg	3.71	(6.63)	8.76	(4.62)	1.21	1.43
	其中:期初	13.43	17.14	10.51	19.26	13.43	-
	期末	17.14	10.51	19.26	14.64	14.64	-

2.3.3 肥料残留土壤中的比率和损失比率 每 667 m² 土壤 K₂O 期末含量为 14.64 kg, 高于期初的 13.43 kg, 周年土壤 K₂O 增加了 1.21 kg, 土壤残留量为输入量的 1.43%。周年 K₂O 输出中, 损失比例为 56.17%, 是氮、磷、钾三要素中唯一一个损失率高于作物吸收利用率。

3 结论与讨论

从以上对氮、磷、钾输入、输出的研究可看出, 作物吸收比例占到 42.40%~56.04%, 比闵炬等^[19]、续勇波等^[20]所报道的 10%~30% 吸收率要高得多。主要

原因可能有:一是该研究是按照作物需求的配方施肥方案进行试验的,肥料的投入相对较合理;二是在温室较封闭的条件下,养分的损失降低;此外,可能与该温室是第2年种植的新设施,尚未产生土壤障碍有关。据孙光闻等报道^[21],在不合理的施肥量和施肥结构下,随着设施种植年限的增长,土壤中养分会不断积累,有出现土壤富营养化或次生盐渍化的倾向,肥料的利用率会大大降低。可见,在温室栽培条件下,只要养分管理合理,可以达到很高的物质流动效率。从该研究结果也可看出,在该配方下,养分尤其是氮和磷在土壤中仍有一定的积累,因此,还需要经常根据土壤变化适时调整和优化施肥配方,避免次生盐渍化等土壤障碍的发生。此外,从该试验结果看,尽管在温室栽培条件下,肥料的淋溶等损失减少,但是氮、磷、钾的损失率仍然达到31.18%~56.17%,可能是因为采用浇灌而不是精确滴灌的水分供应方法,有营养物质随水流出。因此,要进一步提高物质循环效率,还必须改进水分管理技术。其它的损失途径有待于进一步研究。

参考文献

- [1] Liu Z H, Jiang L H, Li X L, et al. Effect of N and K Fertilizers on Yield and Quality of Greenhouse Vegetable Crops[J]. *Pedosphere*, 2008, 18 (4): 496-502.
- [2] 王丽英, 张彦才, 翟彩霞, 等. 平衡施肥对连作日光温室黄瓜产量、品质及土壤理化性状的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2008, 16 (6): 1375-1383.
- [3] Moreno D A, Villora G, Romero L. Variations in fruit micronutrient contents associated with fertilization of cucumber with macronutrients[J]. *Scientia Horticulturae*, 2003, 97: 121-127.
- [4] 段崇香, 于贤昌. 日光温室基质栽培黄瓜化肥吸收利用规律的研究[J]. *西北农业学报*, 2004, 13 (3): 110-113.
- [5] Ruiz J M, Romero L. Cucumber yield and nitrogen metabolism in Response to nitrogen supply [J]. *Scientia Horticulturae*, 1999, 82: 309-316.
- [6] Gutierrez-Miceli F A, Santiago-Borraz J. Vermicompost as oil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum*) [J]. *Bioresource Technology*, 2007, 98: 2781-2786.
- [7] Zaller J G. Vermicompost in seedling potting media can affect germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2007, 43: 332-336.
- [8] Zaller J G. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and Fruit quality of three tomato varieties[J]. *Scientia Horticulturae*, 2007, 112: 191-199.
- [9] Topcu S, Kirda C, Dasgan Y, et al. Yield response and N-fertiliser recovery of tomato grown under deficit irrigation[J]. *European Journal of Agronomy*, 2007, 26: 64-70.
- [10] Toor R K, Savage G P, Heeb A. Influence of different types of fertilisers on the major antioxidant components of tomatoes[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2006, 19: 20-27.
- [11] Chapagain B P, Wiesman Z. Effect of potassium magnesium chloride in the fertigation solution as partial source of potassium on growth, yield and quality of greenhouse tomato[J]. *Scientia Horticulturae*, 2004, 99: 279-288.
- [12] Pavlou G C, Ehalotis C D, Kavvadias V A. Effect of organic and inorganic fertilizers applied during successive crop seasons on growth and nitrate accumulation in lettuce [J]. *Scientia Horticulturae*, 2007, 111: 319-325.
- [13] Wang P, Changa C M, Watson M E, et al. Maturity indices for composted dairy and pig manures[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36: 767-776.
- [14] Nunes J R, Cabral F, Lopez-Pineiro A. Short-term effects on soil properties and wheat production from secondary paper sludge application on two Mediterranean agricultural soils[J]. *Bioresource Technology*, 2008, 99: 4935-4942.
- [15] 李冬生. 温室生态经济系统能量、物质和价值流动特点研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2009.
- [16] 陈贵林. 蔬菜温室建造与管理手册[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [17] 邹志荣. 温室大棚建造与管理新技术[M]. 杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2000.
- [18] 陈阜. 农业生态学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 2001.
- [19] 闵炬, 施卫明. 不同施氮量对太湖地区大棚蔬菜产量、氮肥利用率及品质的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15 (1): 151-157.
- [20] 续勇波, 郑毅, 刘宏斌, 等. 设施栽培中生菜养分吸收和氮磷肥料利用率研究[J]. *云南农业大学学报*, 2003, 18 (3): 221-227.
- [21] 孙光闻, 陈日远, 刘厚诚. 设施蔬菜连作障碍原因及防治措施[J]. *农业工程学报*, 2005, 21 (增刊): 184-188.

Study on Matter Flow of Nitrogen, Phosphorus and Potassium in Greenhouse Eco-economic System

LI Dong-sheng^{1,2}, LI Ping-ping², WANG Ji-zhang², ZHAO Qing-song²

(1. College of Economics and Management, University of South China, Hengyang, Hunan 421001; 2. Ministry of Education Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013)

Abstract: In order to investigate the rule of matter flow of nitrogen, phosphorus and potassium in greenhouse eco-economic system, an experiment on multi-cropping patterns of cucumber and lettuce based on the best fertilization prescription was made in experimental glasshouse of agricultural engineering institute of Jiangsu University by the material of 'No. 1 Jinyou' cucumber and Italian lettuce. The results showed that, N uptake rate by vegetable was 56.04%, N loss rate was 40.38%, P_2O_5 uptake rate by vegetable was 55.48%, P_2O_5 loss rate was 31.18%, K_2O uptake rate by vegetable was 42.40%, K_2O loss rate was 56.17%.

Key words: greenhouse; nitrogen; phosphorus and potassium; matter flow