

doi:10.11937/bfyy.20173878

灌溉方式与基施磷素对设施黄瓜产量的影响

王月月¹, 张晓晟², 张强¹, 陈宏坤¹, 陈清²

(1. 金正大生态工程集团股份有限公司, 养分资源高效开发与综合利用国家重点实验室, 山东 临沂 276700;

2. 中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100193)

摘 要:以黄瓜为试材, 采用小区试验对比的方法, 研究了滴灌和畦灌条件下不同磷素用量对秋季大棚黄瓜产量的影响, 以期为提高秋季大棚黄瓜产量提供参考依据。结果表明: 滴灌大棚的黄瓜生长状况明显好于畦灌大棚, 商品黄瓜产量显著提高($P < 0.05$), 各阶段用水总量 278.3 mm, 节水达 41%。畦灌条件下, 不施磷肥处理黄瓜果实产量显著低于磷肥处理($P < 0.05$); 滴灌条件下, 过量的磷肥施用(P_2O_5 100 kg·hm⁻²)导致黄瓜果实产量和品质显著下降($P < 0.05$)。由此可见, 滴灌条件下合理施用磷肥能够降低水资源消耗, 提高磷肥利用效率, 有利于黄瓜品质和产量的提升。

关键词:滴灌; 畦灌; 磷; 黄瓜; 大棚

中图分类号:S 642.226.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2018)09-0001-07

磷是植物必需的大量元素之一, 其在土壤表层的累积一直作为土壤分类学中划分菜园土的重要特征^[1-3]。在我国农业生产中, 不合理的磷肥供给是瓜果蔬菜种植中普遍存在的现象, 长期过量的施用磷肥会导致土壤中有效磷含量不断升高, 不仅会造成肥料资源的浪费、增加农产品生产成本, 还会增加污染环境的风险^[4-9]。张学军等^[10]调查发现在蔬菜保护地土壤中有有机磷、无机磷、有效磷(Olsen-P)、全磷含量及有效磷占全磷的比率均显著高于一般农田。过量施用磷肥会使聚集于土壤表层的磷素, 随着淋洗、入渗等进入底层土壤导致磷素过量积累^[11-12]。这不仅影响了蔬菜自身的磷素养分供给, 可能还会影响蔬菜整个植株的生长发育状况及品质^[13]。对油菜、菜豆、大白

菜等研究发现, 随着磷素供给的增加, 蔬菜根长、根半径、根表面积、根密度等根系参数受到不正常的影响, 过量施用磷肥蔬菜产量无显著变化甚至降低^[14-16]。此外, 土壤中过量的磷素累积, 还可能通过影响土壤中其它中、微量元素的吸收利用, 如 Ca、Fe、Zn、Mn、Cu 等, 进而对蔬菜的产量和品质产生影响^[17-21]。

英国洛桑试验站的田间土壤监测发现, 当表层土壤 Olsen-P 含量超过 60 mg·kg⁻¹ 时, 会导致磷素的淋失量急剧增加, 加速磷素向周围水体的迁移, 从而加剧水体的富营养化^[22]。而设施蔬菜为了达到高产, 必须做到高肥水, 但由于设施蔬菜地的封闭性会导致土壤中磷肥大量向底层土壤及周围环境中迁移, 造成了土体、水体及周围环境的磷素污染^[3, 13, 21]。因此, 磷肥的过量施入是导致土壤和水体富集磷素的主要原因, 进而威胁人体健康和生态环境结构^[22-23]。而造成以上结果的根本原因在于施肥量远远超过植株的养分吸收量以及过量灌溉造成的低养分和水分利用效率^[24]。可见, 设施蔬菜中磷肥的迁移和污染受灌溉的影响显著。

如何高效利用磷肥, 减少磷肥施入量, 同时提

第一作者简介:王月月(1989-), 女, 山东德州人, 博士研究生, 研究方向为水土资源利用与保护。E-mail: wangyueyue@kingenta.com.

责任作者:张强(1979-), 男, 山东东营人, 博士, 高级农艺师, 研究方向为新型肥料研制与应用。

基金项目:国家重点研发计划课题资助项目(2017YFD0201507)。

收稿日期:2018-02-24

高作物的产量和品质,使其对环境的污染降到最低就成为科学研究的关键点^[25]。合理控制肥料和水分的投入是提高水肥利用效率的有效途径,能够提高磷在土壤中的移动性和有效性,减少磷的固定转化,减少土壤污染,显著改善作物磷素营养,提高作物的产量和品质,并明显提高磷肥利用率降低生产成本^[26-27]。因此,该研究以黄瓜为试材,采用小区试验对比的方法,研究了蔬菜栽培体系中水分和磷素养分供应对蔬菜生长的影响,以期高效水肥一体化技术的建立,发挥水肥耦合效应提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在北京市小汤山特菜基地的塑料大棚内进行,供试黄瓜品种为“秋棚1号”,2016年7月23日播种,11月2日拉秧。供试土壤为潮褐土,基本理化性状如表1所示,其中土壤pH测定中水土比为2.5:1,EC值测定中水土比为2.5:1。灌溉水来自深机井。

表1 供试大棚土壤基本理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of the soil in tested greenhouse

大棚 Greenhouse	土壤深度 Soil depth/cm	有机质含量 Organic matter content /(g·kg ⁻¹)	全氮含量 Total N content /(g·kg ⁻¹)	速效磷含量 Olsen-P content /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Avail. K /(mg·kg ⁻¹)	pH	EC值 EC value /(μS·cm ⁻¹)	容重 Soil bulk /(g·cm ⁻³)
滴灌棚 Drip irrigation greenhouse	0~20	26.6	1.78	211.0	285	7.78	959	1.23
	20~40	18.8	1.33	153.0	219	7.47	427	1.36
	40~60	15.0	0.92	63.3	168	8.15	477	1.43
畦灌棚 Furrow irrigation greenhouse	0~20	20.8	1.50	128.0	159	7.90	612	1.25
	20~40	14.5	1.13	76.1	140	8.23	317	1.39
	40~60	13.3	0.85	22.9	150	8.12	380	1.47

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

试验设置2种灌溉方式:传统畦灌和结合施肥的滴灌。畦灌试验大棚面积为583 m²,每一小区包含3个小畦,每畦2行,行间距为0.60 m,株距0.30 m,6个施肥处理,4次重复,24个小区;滴灌大棚每一小区包含2个小畦,每畦2行,行间距和株距与畦灌大棚相同,6个施肥处理,3次重复,共计18个小区,随机区组排列。

1.2.2 养分处理

6个施肥处理:以不施有机肥和磷肥为对照(CK),在施用7 500 kg·hm⁻²有机肥(M)的基础上,另设5个磷肥水平,分别为0(0+M)、25(25+M)、50(50+M)、100(100+M)、200(200+M) P₂O₅ kg·hm⁻²处理,磷肥采用过磷酸钙,与有机肥一起作为基肥于黄瓜播种前一次性施入。另外,试验中所施钾肥为硫酸钾,氮肥为尿素,其中40%的氮肥和钾肥作为基肥施入,剩余作为追

肥分2次平均施入。

1.2.3 灌水处理

埋设张力计指示试验小区土壤含水量变化、确定灌水时间。控制灌水上限土壤含水量为田间持水量,由设计土壤水吸力值(50 kPa)算出灌水下限土壤含水量,即当张力计读数达到设计吸力值时(于每天08:00读数),依据该观测数值,利用水分特征曲线换算灌水下限土壤含水量,并利用下式计算灌水量:

$$Q = (\theta F - \theta L) \times H \times R \times S。$$

式中:Q为一个小区一次灌水水量(m³), θF 为灌水上限土壤含水量(m³·m⁻³); θL 为灌水下限土壤含水量(m³·m⁻³);H为计划湿润层厚度(m),取H=0.3 m;R为土壤湿润比,取R=0.7;S为小区面积(m²)。

施肥和灌水之外的田间管理参照当地菜农常规管理方法,由特菜基地技术员负责具体指导和实施。

1.3 项目测定

采用重铬酸钾滴定法测定土壤有机质含量, 消煮-蒸馏法测定全氮含量, Olsen 法测定速效磷含量, NH_4AC -火焰光度计法测定速效钾含量。

大棚内气温利用温度计测定, 0~5、5~10、10~15、15~20 cm 深度的土壤温度通过曲管温度计测得, 每天 08:00 和 14:00 读取气温和土壤温度数据。土壤水分特征曲线采用压力膜法测定, 供试土壤的水分特征曲线见图 1。各处理土壤含水量利用水银式土壤水分张力计监测, 张力计埋设于距小区土壤表面 15 cm 深处, 即黄瓜的主要根区。

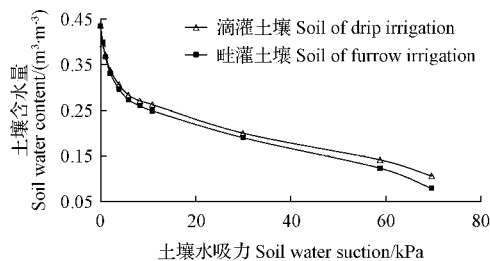


图1 供试土壤水分特征

Fig. 1 Water characteristic of the soil tested

1.4 数据分析

试验结果采用 SAS 8.0 软件进行统计检验。同一磷水平下不同灌溉方式对果实产量的影响利用 T 检验进行分析; 同一灌溉方式下不同施磷水平对产量的影响利用 One-way ANOVA 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 灌溉方式对棚内温度及灌溉用水量的影响

黄瓜生育期畦灌大棚内气温和不同土层土壤温度变化(图 2)表明, 京郊地区 7 月下旬和 8 月上旬气温较高, 10 月下旬, 棚内气温和土壤温度急剧下降, 10 月底, 夜间棚内土壤温度连续数日在 10 °C 以下。

黄瓜生育期滴灌大棚每天气温变化和不同层次的土壤温度变化趋势与畦灌大棚相似(图 3)。滴灌大棚每天的气温变化与畦灌大棚差异不大, 但滴灌大棚表层土壤(0~5 cm)温度在黄瓜生长前期(7 月下旬至 9 月上旬)明显低于畦灌大棚表层土壤温度, 而在生长后期(9 月下旬以后)表层土壤温度明显高于畦灌大棚, 滴灌大棚的最低土壤温度在 11 月前未降到 10 °C 以下。

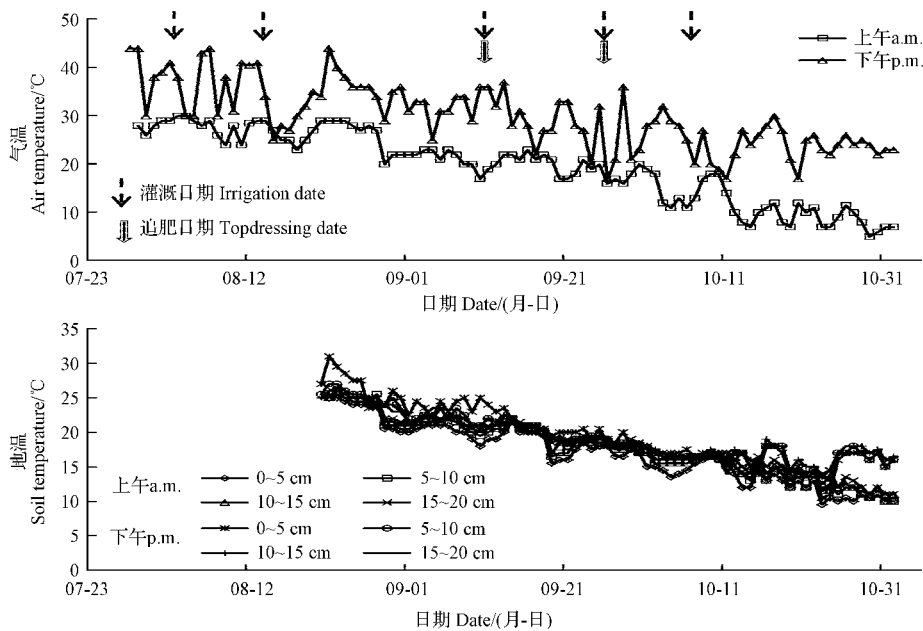


图2 畦灌大棚土壤温度和气温变化

Fig. 2 Air and soil temperature in plastic greenhouse of furrow irrigation

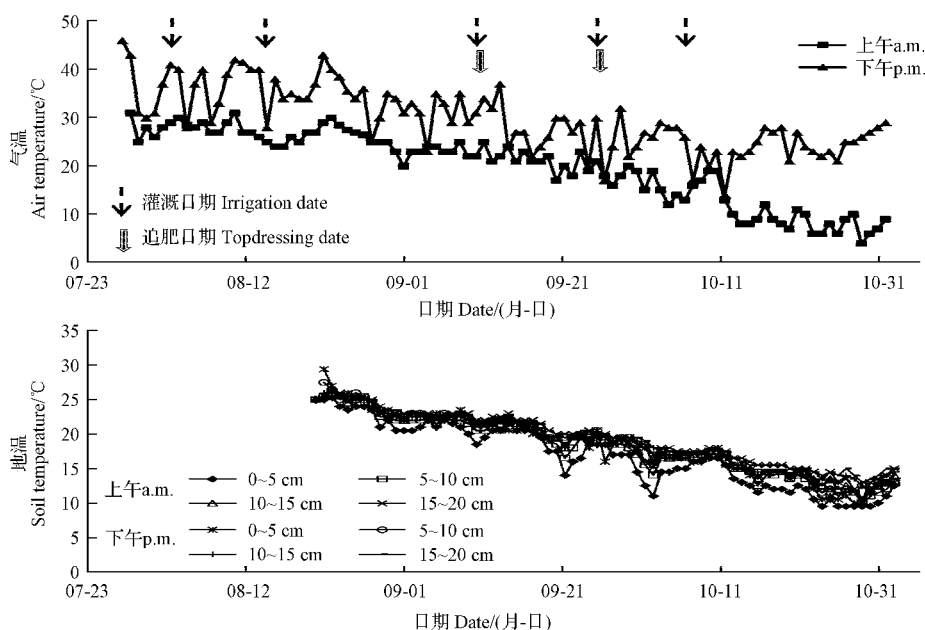


图3 滴灌大棚土壤温度和气温变化

Fig. 3 Air and soil temperature in plastic greenhouse of drip irrigation

黄瓜从移栽到盛果期需水量不断增大,且不同灌水方式下黄瓜灌溉用水量差异很大(表2)。秋黄瓜在100 d的生育期内,滴灌处理在各阶段灌溉

用水量均显著低于畦灌用水量,滴灌总灌水量为278.0 mm,比畦灌(475.8 mm)节水达41.57%。

表2 不同灌水方式下黄瓜灌水量

Table 2 Irrigation amount of cucumber under drip and furrow irrigation

mm

生育期 Growth period	移栽至开花 Transplant to flower	开花至第1次采收 Flower to first harvest	第1次采收至盛果期 First harvest to full productive age	盛果期至拉秧 Full productive age to end	全生育期 Whole growth period
畦灌 Furrow irrigation	83.5	153.2	154.6	84.5	475.8
滴灌 Drip irrigation	48.9	89.7	90.2	49.5	278.3

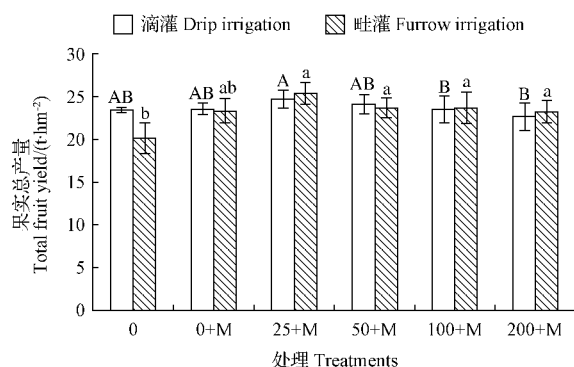
2.2 灌溉方式及施磷量对黄瓜果实产量的影响

小汤山特菜基地是北京市农业局定点的无公害蔬菜生产基地,其产品主要面向北京市各大超市的蔬菜专柜,有严格的产品筛选操作规程,因此将黄瓜果实按照是否符合进入超市的要求分为商品果实和非商品果实2个级别。

对于黄瓜果实总产量,畦灌条件下,化肥和有机肥均不施用的对照果实总产量显著低于($P < 0.05$)同时施用磷肥和有机肥的处理(图4),而不同施磷量处理间果实总产量差异不显著($P > 0.05$)。滴灌条件下,与25+M处理相比,100+M和200+M处理黄瓜果实总产量显著下降

($P < 0.05$),其它处理间差异不显著。2种不同灌溉方式在同一施肥条件下黄瓜总产量均无显著变化。

对于黄瓜商品果实产量,畦灌条件下,化肥和有机肥均不施用的对照黄瓜商品果实产量显著低于($P < 0.05$)同时施用磷肥和有机肥50+M的处理(图5),其它处理间无显著差异。滴灌条件下,200+M处理黄瓜商品果实产量最低,显著低于25+M($P < 0.05$)(图5),其它处理间差异不显著。滴灌条件在0、0+M、25+M、50+M施肥条件下商品果实产量均高于畦灌商品果实产量。



注:图中数据为平均值±SD。不同小写字母表示畦灌条件下0.05水平差异显著,大写字母表示滴灌条件下0.05水平差异显著。下同。

Note: Data in the figure are mean ± SD. Different lower-case letters indicate significant difference within furrow irrigation at $P < 0.05$. Different capital letters indicate significant difference within drip irrigation at $P < 0.05$. The same below.

图4 滴灌和畦灌下不同施肥处理对
大棚黄瓜果实总产量的影响

Fig. 4 Effect of different fertilization treatments on total fruit yield of cucumber under drip and furrow irrigation

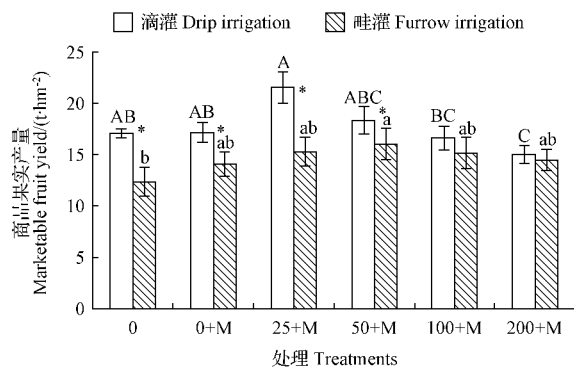


图5 滴灌和畦灌下不同施肥处理对
大棚黄瓜商品果实产量的影响

Fig. 5 Effect of different fertilization treatments on marketable fruit yield of cucumber under drip and furrow irrigation

3 结论与讨论

该研究比较了滴灌和畦灌条件下设施棚内温度差异以及不同磷素用量对秋季黄瓜产量的影响,发现与传统畦灌冲施肥料相比,滴灌大棚在生长后期气温和地温更高,黄瓜生长状况明显好于

畦灌大棚,且滴灌处理在各阶段灌溉用水量均显著低于畦灌用水量,黄瓜商品果实产量显著高于畦灌。畦灌条件下,不施用磷肥的处理黄瓜总果实产量和商品果实显著低于施用磷肥的处理。而在滴灌条件下,过量的磷肥供给导致黄瓜果实产量的显著下降,对于商品果实产量的影响尤其明显。大棚高肥力土壤条件下,过多的磷素供应不仅不能保证黄瓜产量的增长和收益的增加,甚至还有造成产量下降和经济效益受损的可能。总之,滴灌条件下合理施用磷肥更利于黄瓜生长发育和果实质量的提升,并且能够显著减少水肥浪费,提高水肥利用效率。

比较畦灌和滴灌大棚黄瓜商品果实产量结果可以看出,滴灌处理高于畦灌处理。究其原因,一方面秋黄瓜是一种需水量较大且对水分较敏感的蔬菜^[27-28],由于滴灌措施更长久的保持了根层土壤的湿润状况,其干湿交替和温度变化的频率和幅度都小于畦灌处理,为黄瓜根系生长和养分吸收营造了更好的水分和温度条件^[29];另一方面,滴灌措施的水分供应强度小^[30],在根系周围保持了更多的有效养分,也可能是滴灌条件下商品黄瓜产量增加的重要原因。同时,不同灌水方式对黄瓜灌溉用水量差异很大,秋黄瓜生育期内,滴灌处理比畦灌节水41%。相对于畦灌大棚来说,滴灌措施为黄瓜根系生长发育和养分吸收营造了更好的温度条件和水分环境。因此,在节约水分资源的条件下,滴灌处理的商品黄瓜产量比传统畦灌处理有了大幅度提高,单位水资源生产效率也有很大提高。关于滴灌条件下灌溉制度的确立,HARTZ等^[31]提出确定灌溉时间和灌溉频率的几个原则:最大活动根层有效水含量不低于75%~80%;限制每次的灌水不超过15 mm;用张力计监测土壤的水分状况。从对作物充分供水的观点出发,以水量平衡法确定黄瓜生育期内的水分需求量,根据黄瓜各生育期内土壤水分变化,在黄瓜各生育期内维持计划湿润层内的土壤含水量为黄瓜适宜含水量的上限和下限之间,若土壤含水量降至下限时,应及时进行灌水,确保作物充分供水。根据这一原则,结合当地具体的气候条件确定需要考虑的各个组分的值,推算不同栽培条件下不同生育阶段黄瓜适宜的灌溉水量,利用测定的参数可计算黄瓜生育期各时段不同情况下的灌

水时间间隔和灌水定额,从而确定作物的灌溉制度,在满足黄瓜生长水分合理供应的前提下减少了传统经验灌溉对水资源的浪费,显著提高水资源的利用率。

京郊地区在7月下旬和8月上旬气温较高,滴灌在黄瓜前期生长中降低了土壤温度,能够保护黄瓜根系免受高温伤害。生长后期,黄瓜生长的主要影响因素由原来不同的水分、养分管理措施变为主要受气温和土壤温度的影响,畦灌条件下夜间棚内土壤温度连续几天在 10°C 以下,地上部黄瓜出现了“化瓜”现象,而滴灌条件表层土壤温度明显高于畦灌大棚,保证了黄瓜的正常生长。

从果实总产量来看,畦灌条件下,在基础土壤速效磷含量较低($128\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)的情况下,在一定范围内适当增加磷素尤其是有机磷素的供应无论对于增加黄瓜果实总产量和商品果实产量均具有重要意义。这可能是由于黄瓜属于弱根系作物,根系下扎深度浅,扩展范围相对狭小^[32],畦灌过程中过多的水分供应量和过高的供应强度造成了更多的磷素难以被黄瓜根系吸收利用,另一方面,畦灌处理中频繁的干湿交替和浅层土壤温度变化造成石灰性土壤更多的磷素被土壤固定^[29],只有适当增加磷肥的供应才能满足黄瓜对于磷素的需求,保证黄瓜的正常生长。滴灌施肥大棚的基础土壤速效磷含量相对较高($211\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),因此无论是有机还是无机磷肥的施用对黄瓜果实产量均无贡献,过多施用反而影响黄瓜果实产量。该试验条件下,在施用粪肥的基础上,大棚黄瓜对于磷素的需求很低,最佳的磷素用量在 $25+\text{M}$ 的处理上,过多的磷肥施用并未带来产量的持续增加,甚至可能造成黄瓜产量和品质的降低,在增加投入的同时反而使得收入降低。

在农业生产中,水分与养分供应是影响作物产量的重要限制因素,只有科学管理,合理的配置水肥,才能做到以肥调水、以水促肥,充分发挥水肥联合调控的整体增产作用^[3,26-27],这也是高效水肥一体化技术的内在要求^[33-35]。通过该研究可以发现滴灌条件下合理施用磷肥能够显著降低水资源的消耗,提高磷肥效率,利于黄瓜品质和产量的提升,为进一步开发高效水肥一体化技术提供了指导。

参考文献

- [1] 沈汉. 京郊菜园土壤元素累积与转化特征[J]. 土壤学报, 1990(1):104-112.
- [2] MCBEATH T M, LOMBI E, MCCLAUGHLIN M J, et al. Pyrophosphate and orthophosphate addition to soils: Sorption, cation concentrations, and dissolved organic carbon[J]. Australian Journal of Soil Research, 2007, 45(45): 237-245.
- [3] 张国桥, 王静, 刘涛, 等. 水肥一体化施肥对滴灌玉米产量、磷素营养及磷肥利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(5): 1103-1109.
- [4] 张政勤, 姚丽贤. 广州市郊菜园土和蔬菜养分状况调查分析[J]. 广东农业科学, 1997(6): 29-32.
- [5] 李晓林, 张福锁, 米国华. 平衡施肥与可持续优质蔬菜生产[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [6] 马文奇, 毛达如. 山东省蔬菜大棚养分积累状况[J]. 磷肥与复肥, 2000, 15(3): 65-67.
- [7] 王柳, 张福锁, 高丽红. 京郊日光温室土壤养分特征的研究[J]. 中国农业大学学报, 2003, 8(1): 62-66.
- [8] 刘建玲, 廖文华, 高志岭, 等. 河北省蔬菜保护地土壤养分的积累状况及影响因素[J]. 河北农业大学学报, 2004, 27(1): 19-24.
- [9] 段立珍, 汪建飞, 于群英. 长期施肥对菜地土壤氮磷钾养分积累的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(3): 293-296.
- [10] 张学军, 孙权, 陈晓群, 等. 不同类型菜田和农田土壤磷素状况研究[J]. 土壤, 2005, 37(6): 649-654.
- [11] 杨丽娟, 李天来, 曲慧, 等. 长期施肥条件下设施栽培土壤无机磷组分及其剖面分布特点[J]. 土壤通报, 2008, 39(4): 797-800.
- [12] 吴一群, 李延. 磷肥施用对蔬菜地土壤磷素淋失潜力的影响[J]. 安徽农学通报, 2011, 17(23): 103-106.
- [13] 韩张雄, 董亚妮, 王曦婕, 等. 设施蔬菜地施用磷肥对土壤及环境中磷素积累的影响研究现状[J]. 中国农业信息, 2016(20): 70-72.
- [14] 黄智刚. 不同施磷量对油菜根系形态和磷吸收的影响[J]. 广西农学报, 2000(3): 27-29.
- [15] 贾可, 刘建玲, 廖文华, 等. 磷肥在油菜和大白菜上的产量效应及土壤磷素的化学行为研究[J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(4): 10-13.
- [16] 石文学, 崔良满. 施用不同氮磷钾配比肥料对大白菜产量的影响[J]. 北京农业, 2008(18): 93-97.
- [17] 丛黎明. 曲沃县设施蔬菜施肥现状及土壤养分变化规律[D]. 太原: 山西大学, 2011.
- [18] 顾益初, 钦绳武. 长期施用磷肥条件下潮土中磷素的积累、形态转化和有效性[J]. 土壤, 1997, 29(1): 13-17.
- [19] 马玲玲. 长期定位施肥对棕壤磷素形态转化及空间分布的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2007.
- [20] BÖRLING K, BARBERIS E, OTABBONG E. Impact of long-term inorganic phosphorus fertilization on accumulation,

sorption and release of phosphorus in five Swedish soil profiles [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2004, 69(1): 11-21.

[21] WANG Y, ZHANG H, TANG J, et al. Accelerated phosphorus accumulation and acidification of soils under plastic greenhouse condition in four representative organic vegetable cultivation sites[J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 195: 67-73.

[22] RUBAEK G H, SIBBESEN E. Soil phosphorus dynamics in a long-term field experiment at Askov[J]. *Biology & Fertility of Soils*, 1995, 20(1): 86-92.

[23] 潘根兴, 焦少俊, 李恋卿, 等. 低施磷水平下不同施肥对太湖地区黄泥土磷迁移性的影[J]. *环境科学*, 2003, 24(3): 91-95.

[24] STORK P R, JERIE P H, CALLINAN A P L, et al. Subsurface drip irrigation in raised bed tomato production. II. Soil acidification under current commercial practice[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2003, 41(7): 1305-1315.

[25] 韩张雄, 董亚妮, 王曦婕, 等. 设施蔬菜地施用磷肥对土壤及环境中磷素积累的影响研究现状[J]. *中国农业信息*, 2016(20): 70-72.

[26] 吴晓红. 不同灌溉施肥处理对马铃薯生长及水肥利用率的影响[D]. 青岛: 青岛农业大学, 2016.

[27] 诸海煮, 李建勇, 朱恩, 等. 水肥一体化条件下设施黄瓜的氮

磷钾吸收分配规律研究[J]. *上海农业学报*, 2017, 33(1): 74-78.

[28] 徐欢欢. 增氧灌溉对大棚秋黄瓜生长的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.

[29] 任文畅, 王沛芳, 钱进, 等. 干湿交替对土壤磷素迁移转化影响的研究综述[J]. *长江科学院院报*, 2015, 32(5): 41-47.

[30] 张振华, 蔡焕杰, 杨润亚, 等. 地表积水条件下滴灌入渗特性研究[J]. *灌溉排水学报*, 2004, 23(6): 1-4.

[31] HARTZ T K, BENDIXEN W E, WIERDSMA L. The value of presidedress soil nitrate testing as a nitrogen management tool in irrigated vegetable production[J]. *Hortscience a Publication of the American Society for Horticultural Science*, 2000, 35(4): 489-498.

[32] 赵扩元. 日光温室黄瓜种植体系土壤硝酸盐淋失的阻控措施研究[D]. 青岛: 青岛农业大学, 2007.

[33] 王静, 叶壮, 褚贵新. 水磷一体化对磷素有效性与磷肥利用率的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2015, 23(11): 1377-1383.

[34] 闵卓, 房玉林. 葡萄园水肥一体化研究进展[J]. *北方园艺*, 2014(23): 180-183.

[35] 肖欢, 张以和. 日光温室嫁接西瓜高垄膜下水肥一体化栽培技术[J]. *北方园艺*, 2016(3): 209-210.

Effect of P Application Rates on Cucumber Yield Under Different Irrigation Regimes

WANG Yueyue¹, ZHANG Xiaosheng², ZHANG Qiang¹, CHEN Hongkun¹, CHEN Qing²

(1. Kingenta Ecological Engineering Co. Ltd. /State Key Laboratory of Nutrition Resources Integrated Utilization, Linyi, Shandong 276700; 2. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193)

Abstract: Cucumber was used as the test material, the effect of P application rates and irrigation regime on cucumber yield in plastic greenhouse was studied by using the method of experiment comparison, in order to provide a reference for raising cucumber yield. The results showed that the marketable cucumber yield of drip irrigation was also higher than furrow irrigation. Total water using in drip irrigation was 278.3 mm, and the water-saving percentage was 41%. In furrow irrigation, cucumber yield was higher in P application treatments than that in none P fertilizer application. In drip irrigation, the overdose of P fertilizer (P_2O_5 100 kg · hm⁻²) decreased the cucumber yield, especially for the marketable cucumber. In conclusion, reasonable P application rates in drip irrigation could reduce water resources consumption and increase the P efficiency and cucumber yield.

Keywords: drip irrigation; furrow irrigation; phosphorus; cucumber; greenhouse