

施肥及作物生长对田间非点源产污的影响

廖义善, 卓慕宁*, 李定强, 廖新荣, 郭太龙, 乔玉娜

广东省生态环境与土壤研究所//广东省农业环境综合治理重点实验室, 广东 广州 510650

摘要: 为了揭示施肥及作物生长对田间非点源污染的影响, 分别在节瓜地布设不施肥、无机肥、无机肥+有机肥、有机肥、有机肥+多肽肥、多肽肥等 6 种施肥处理的小区, 并于节瓜生长的初瓜期、盛瓜期、清藤期采用放水浸泡土壤的方法, 测试不同施肥及作物生长状态下田间非点源产污强度。研究表明: 在节瓜的生长过程中, 各试验小区非点源产污强度呈现初瓜期>清藤期>盛瓜期的趋势。各营养元素的主要输出时段有所差异, 总 N、NH₄-N 的为初瓜期, 总 P、总 K 的为清藤期, NO₃-N 的为盛瓜期。在灌溉水作用下整个作物生长阶段的非点源产污总量从大到小依次为, 有机肥、无机肥+多肽肥、无机肥+有机肥、不施肥、多肽肥、无机肥, 试验表明该多肽肥具有一定的减污效果。

关键词: 施肥, 多肽肥, 非点源污染, 蔬菜地

中图分类号: X508

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2011) 05-0886-06

蔬菜是人类重要的副食品之一, 其种植存在较好的经济效益。N、P、K 等营养元素作为影响蔬菜产量和品质的重要因素^[1], 被广泛的施用于菜地当中。蔬菜的施肥量往往为普通大田作物的数倍甚至数十倍^[2-3], 过量的化肥投入不仅造成肥料资源的浪费^[4], 而且还带来了许多环境问题^[5]。氮肥的过量使用导致我国区域性土壤的酸化问题严重^[6-7], N、P 等营养元素在土壤中大量盈余, 严重影响土壤的生态环境, 造成蔬菜等农产品中的重金属、硝酸盐等有害物质严重超标, 农产品质量受到严重威胁^[8-9]。同时, 在灌溉水及降雨地表径流的作用下, 土壤中大量的营养元素随径流进入水体, 使得农业非点源污染加剧^[10-13]。农作物对传统化肥的吸收率较低^[14], 加之化肥的过量施用, 导致田间营养元素的流失。当前的研究多关注于作物种植方式^[15]、施肥量及施肥方式对非点源产污的影响^[16-17], 而对采用新型肥料减少非点源污染的研究还较少。多肽是五大激素(生长素、赤霉素、脱落酸、乙烯利和细胞分裂素)以外的又一新型植物生长调节物质^[18], 将多肽酶添加到普通的肥料中, 将提高作物对肥料的吸收率并改善作物的品质^[19]。化州市博傲生物科

技有限公司与本项目组开发出一种以多肽为有机氮源、虾头蛋白洗脱液为有机钾和钙源、以磷酸催化降解纤维的残余物为磷源, 木质素和活性碳为碳源的多肽有机物料。本研究将对不同施肥处理的试验小区进行土壤浸泡试验, 探求不同施肥处理及作物生长阶段对农业非点源产污的影响, 明确农田非点源产污规律及本多肽肥的减污效果, 以期减少蔬菜地农业非点源污染。

1 试验区概况及研究方法

1.1 试验区概况

本试验区位于广东省佛山市南海区狮山镇汀圃村, 东经 113°00'48", 北纬 23°12'30", 属亚热带季风性湿润气候, 雨热同期, 春湿多阴冷, 秋冬暖而早晴, 年平均气温 22.2℃, 每年 4~9 月为雨季, 年平均降雨量为 1 653.0 mm。试验区土壤为砂质壤土, 土壤呈酸性 pH 为 5.73, 全 N 含量为 0.56 g/kg, 有机质含量为 8.48 g/kg, 试验区种植作物为节瓜, 其土壤背景值详见表 1。按土壤背景值计算, 每个小区表层 20cm 厚的土壤中所含的 N、P、K 折合尿素、过磷酸钙、硫酸钾分别为 258 g、801.4 g、704.4 g。

表 1 土壤背景值
Table 1 Soil background values

质地命名 (国际制)	有效养分									
	碱解 N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
砂质壤土	67.39	15.01	100	701.4	61.00	133.69	13.17	1.97	6.94	0.30

基金项目: 广东省重大科技专项 (2009A080303008; 2008A080800028); 广东省科技攻关项目 (2010B010900046); 国家科技重大专项河流主题东江项目 (2009ZX07211-002)

作者简介: 廖义善 (1980 年生), 男, 助理研究员, 硕士, 主要从事水土保持与非点源污染研究。E-mail: ysliao@soil.gd.cn

通讯作者: 卓慕宁 (1959 年生), 女, 研究员, 主要从事水土保持与非点源污染研究。E-mail: mnzhuo@soil.gd.cn

收稿日期: 2011-04-05

1.2 研究方法

为了探明施肥及作物生长阶段对农业非点源产污的影响，于 2010 年在狮山镇汀圃村蔬菜地开展了不同施肥处理的农业非点源产污试验，试验共包括 6 个处理（不施肥、无机肥、无机肥+有机肥、有机肥、有机肥+多肽肥、多肽肥），每个处理设 3 个重复，共布设 18 个试验小区，单个试验小区规模面积为 10 m² (6.7 m×1.5 m)。试验过程中施用的肥料分别为尿素（含 N 46%），过磷酸钙（含 P₂O₅ 12%），硫酸钾（含 K₂O 50%），精制有机肥（含 1.21% 全 N，1.09% 全 P，2.31% 全 K），多肽肥（含 3.36% 全 N，0.83% 全 P，0.77% 全 K），各小区的施肥情况见表 2。其中基肥在移栽前施于种植穴（或沟）内，精制有机肥，多肽有机肥均是作基肥，一次施完。本试验时段为 2010 年 9 月 6 日至 2010 年 11 月 9 日，整个试验时段内除前期（9 月 11、12 日）降大雨外，其余时段均为小雨或晴天，故本试验受降雨影响较小。

分别于初瓜期（10 月 13 日）、盛瓜期（10 月 23 日）、清藤期（11 月 9 日）进行小区放水浸泡试验，并在入水口处采集灌溉水水样。当灌溉水淹没节瓜根部后停止供水，当土壤浸泡 1 小时后（参照当地降雨排水时间）采集各试验小区的剩余灌溉水水样，并测试水样中的总 N、总 P、总 K、NO₃-N、NH₄-N 含量。由于每个试验小区的布设及下垫面性质均较为接近，因而每次试验的小区入水量及土壤浸泡液（剩余灌溉水量）可近似相等，通过比较各小区污染物浓度，即可判断各试验小区相对的产污量大小。此外，由于每次灌溉水都是采用同一水源，故在比较同一时段各小区非点源产污时，可忽略灌溉用水的差异影响。由于测试的水质指标的数值大小主要受作物生长阶段及施肥差异的影响，为便于比较分析，故本研究分别采用 R_{ij} 来衡量作物各生长阶段的非点源污染物输出强度变化，R_j 来衡量相同的作物生长阶段内不同施肥处理的非点源污染物

输出差异，其中 R_{ij} 为单个水样中某种营养元素的浓度与所有采集水样（3 个采样时段、6 个施肥处理的水样）中该种营养元素平均浓度的比值（其值详见表 3）；R_j 为单个水样中某种营养元素的浓度与该时段内采集水样（6 个施肥处理的水样）中该种营养元素平均浓度的比值，其计算公式分别为（1）、（2），其中 i 为 3 个采样阶段编号，j 为 6 个处理编号，D_j 为非点源输出物的浓度。

$$R_{ij} = \frac{D_{ij}}{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^6 D_{ij} \times \frac{1}{18}} \quad (1)$$

$$R_j = \frac{D_j}{\sum_{j=1}^6 D_j \times \frac{1}{6}} \quad (2)$$

2 结果与分析

2.1 初瓜期的非点源产污

节瓜苗于 2010 年 9 月 7 日移植至各试验小区，并施用基肥，在进行 3 次追肥节瓜进入初瓜期后，于 10 月 13 日进行第一次土壤浸泡试验。经水样测试分析发现，初瓜期节瓜地非点源产污能力较强，水样中总 N、总 P、NH₄-N 的浓度均超过地表水 V 类水标准。这可能与初瓜期及之前，田间施肥量过大，而作物需求量相对较少有关。大量养分囤积在土壤中，易在灌溉用水、降雨地表径流的淋溶作用下进入地下水体，或通过田间排水污染周边地表水体。由表 3 中初瓜期 R_{ij} 值可知，初瓜期各试验小区的非点源产污量均较大，就各小区污染物输出的总量而言，初瓜期的非点源污染物输出强度为三个作物生长阶段中最大的。就单个水质指标而言，初瓜期总 N、NH₄-N 的输出强度也是三个作物生长阶段中最大的，可见初瓜期是产生非点源污染的重要时段。

由图 1 中初瓜期的 R_j 值可知，不同试验小区非点源产污量从大到小依次为：无机肥+多肽肥、有机肥、无机肥+有机肥、多肽肥、无机肥、不施肥。无机肥小区、多肽肥小区的非点源污染物输出均较小，

表 2 各试验小区施肥情况

Table 2 Fertilization in the experimental plots

小区 编号	施肥时间																	
	9月6日 基肥				9月17日 第1次追肥		9月23日 第2次追肥		10月2日 第3次追肥			10月13日 第4次追肥			10月24日 第5次追肥			
	有机/多 肽肥	尿素	过磷 酸钙	硫酸钾	尿素	硫酸钾	尿素	硫酸钾	尿素	过磷 酸钙	硫酸钾	尿素	过磷 酸钙	硫酸钾	尿素	过磷 酸钙	硫酸钾	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	59	675	60	29	30	59	60	88	112	90	117	112	120	117	112	120	
3	4500	59	675	60	29	30	59	60	88	112	90	117	112	120	117	112	120	
4	4500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	4500	59	675	60	29	30	59	60	88	112	90	117	112	120	117	112	120	
6	4500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

注：表中施肥量单位为 g/10m²。

表3 各时段的 R_{ij} 值
Table 3 The R_{ij} values during the growth periods

水质指标 施肥处理	R_{ij} 比值					平均	
	总 N	总 P	总 K	NO ₃ -N	NH ₄ -N		
初瓜期	不施肥	1.55	0.67	0.82	0.84	2.29	1.23
	无机肥	1.51	0.98	0.85	0.72	2.11	1.23
	无机肥+有机肥	1.74	1.17	0.87	0.75	2.41	1.39
	有机肥	1.79	0.99	0.85	1.43	2.30	1.47
	无机肥+多肽肥	1.61	1.67	0.89	1.03	2.24	1.49
	多肽肥	1.57	0.86	0.83	0.78	2.31	1.27
盛瓜期	不施肥	0.65	0.31	0.57	1.51	0.39	0.69
	无机肥	0.47	0.33	0.57	0.19	0.70	0.45
	无机肥+有机肥	0.62	0.31	0.57	1.24	0.36	0.62
	有机肥	0.78	0.30	0.55	1.35	0.30	0.66
	无机肥+多肽肥	0.88	0.30	0.57	1.16	0.70	0.72
	多肽肥	0.71	0.30	0.55	1.56	0.43	0.71
清藤期	不施肥	0.60	1.97	1.45	1.08	0.30	1.08
	无机肥	0.64	1.57	1.61	0.93	0.20	0.99
	无机肥+有机肥	0.67	1.56	1.86	1.00	0.23	1.06
	有机肥	0.77	1.81	2.30	0.61	0.25	1.15
	无机肥+多肽肥	0.70	1.71	1.22	0.69	0.24	0.91
	多肽肥	0.75	1.20	1.10	1.12	0.23	0.88

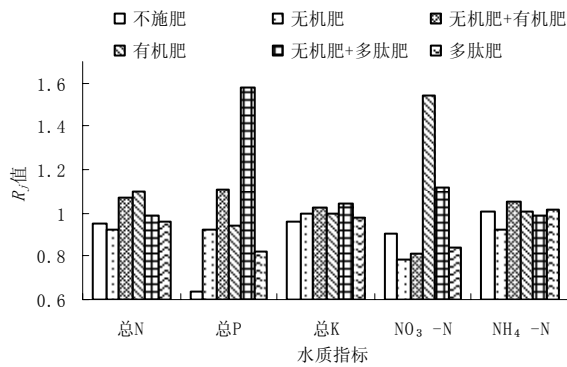


图1 初瓜期非点源产污
Fig.1 Non-point source pollution during the early growth period of chieh-qua

但究其原因却有所不同。施用多肽肥的试验小区非点源污染物输出强度除 NH₄-N 外其余水质指标均低于 6 个处理的平均值, 这可能与多肽肥肥效释放较慢有关。多肽肥在初瓜期释放的肥效有限, 有效的减少了初瓜期及之前时段土壤养分供给量过大与作物吸收量相对较少的矛盾, 故其非点源产污量较少。而无机化肥肥效释较快, 且较其它肥料易于流失, 特别是其中的氮肥在无水作用下也能通过空气挥发, 因而施用无机肥的小区在有水作用下非点源产污量也较少。从初瓜期各施肥处理水质指标的差异

来看, P 的输出差异系数最大 (0.34), 其中总 P 最大输出强度 (无机肥+多肽肥处理) 为总 P 最小输出强度 (不施肥处理) 的 2.5 倍, 总 K 输出差异系数最小 (0.03), 其中总 K 最大输出强度 (无机肥+多肽肥处理) 为总 K 最小输出强度 (不施肥) 的 1.1 倍。这表明在初瓜期不同施肥处理非点源污染的差异主要体现在 P 元素的差异, 而 K 元素的差异较小。

2.2 盛瓜期非点源产污

经过 4 次追肥后, 节瓜进入盛瓜期, 并于 2010 年 10 月 23 日进行第二次土壤浸泡试验。由表 3 中盛瓜期的 R_{ij} 值可知, 盛瓜期的总 N、总 P、总 K、NH₄-N 的输出量均较初瓜期有所下降, 其浓度仅相当于初瓜期的 44.3%、30.8%、69.6%、24.8%, 部分小区的 NH₄-N 含量甚至满足地表水 II 类水的标准。从各试验小区的污染物输出总量来看, 盛瓜期 6 类施肥处理小区的非点源污染物输出总量为三个作物生长阶段中最小的。从单个水质指标来看, 6 类施肥处理小区中除 NO₃-N 的输出强度大于三个作物生长阶段的平均值外, 其余营养元素输出强度均小于平均值。特别是总 P 的输出强度, 仅相当于三个时段平均值的 31%。盛瓜期是最主要的产瓜时段, 节瓜对肥料的吸收量有所加强, 土壤中的养分含量有所下降, 故其非点源污染强度随之下降。

由图 2 中盛瓜期的 R_{ij} 值可知, 不同试验小区非点源产污总量从大到小依次为: 无机肥+多肽肥、多肽肥、不施肥、有机肥、无机肥+有机肥、无机肥。多肽肥小区营养元素输出强度仅次于施用无机肥+多肽肥的试验小区, 表明多肽肥的肥效释放量较初瓜期有大幅提高, 其中多肽肥试验小区 NO₃-N 的输出强度为无机肥小区的 8.4 倍。而 NO₃-N 是最易被作物吸收利用的氮素形态, 因而盛瓜期土壤中 NO₃-N 含量较大将有助于节瓜的生长。而不施肥小区的 NO₃-N 输出强度也较大, 这可能与试验小区 N

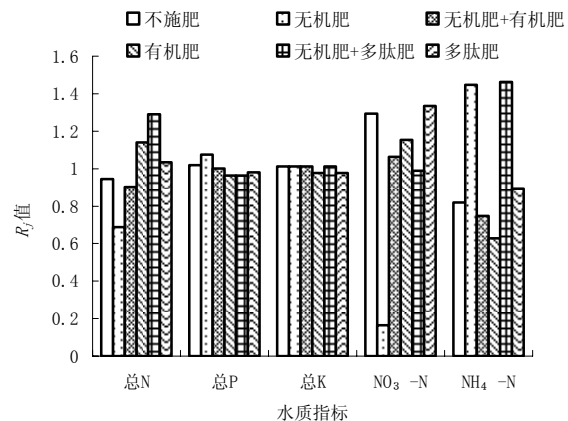


图2 盛瓜期非点源产污
Fig.2 Non-point source pollution during the mid-growth period of chieh-qua

素含量背景值较高，而不施肥小区节瓜对土壤中 N 素的吸收量不及其它小区有关。从盛瓜期各施肥处理小区的水质指标差异来看，NO₃-N 的输出差异系数最大 (0.43)，总 K 输出差异系数最小(0.02)，表明盛瓜期不同施肥处理小区的非点源污染差异主要为 NO₃-N，而 K 元素的差异较小。

2.3 清藤期非点源产污

经过 5 次追肥后，节瓜进入清藤期，并于 2010 年 11 月 9 日进行第三次土壤浸泡试验。由表 3 中清藤期的 R_{ij} 值可知，清藤期的总 P、总 K 的输出强度较盛瓜期大幅度上升，总 N 的输出强度较盛瓜期较为接近，而 NH₄-N、NO₃-N 的输出强度较盛瓜期有所下降。除 NH₄-N 指标优于 II 类地表水标准外，水样中总 N、总 P 的浓度均劣于地表水 V 类标准。就各小区污染物输出的总量而言，清藤期非点源污染强度小于三个作物生长阶段平均值的施肥处理为无机肥、无机肥+多肽肥、多肽肥，其余均大于平均值。从单个水质指标而言，清藤期总 P、总 K 的输出强度均显著大于初瓜期、盛瓜期，这可能与土壤中 P、K 的背景值较高有关，以施用无机肥的小区为例，该小区中 P、K 素的施入含量仅为表层土壤 (20cm) 含量的 15%、34%。进入清藤期后节瓜对土壤中的 P、K 养分吸收量大大降低，加之节瓜根系对土壤的固持作用减弱，故土壤 P、K 输出强度有所增加。而 NH₄-N 的输出强度却不及初瓜期、盛瓜期，这可能与清藤期不再往耕地中施入氮肥，且土壤中原有 NH₄-N 经硝化作用也有所减少有关。

由图 3 中清藤期的 R_{ij} 值可知，各试验小区非点源产污量从大到小依次为：不施肥、有机肥、无机肥+多肽肥、无机肥、多肽肥、无机肥+有机肥。进入清藤期后由于无外界肥料输入，加之植物较少摄取土壤中的养分，土壤中营养元素的含量相对较为稳定，差异较小。从清藤期各施肥处理小区的水质

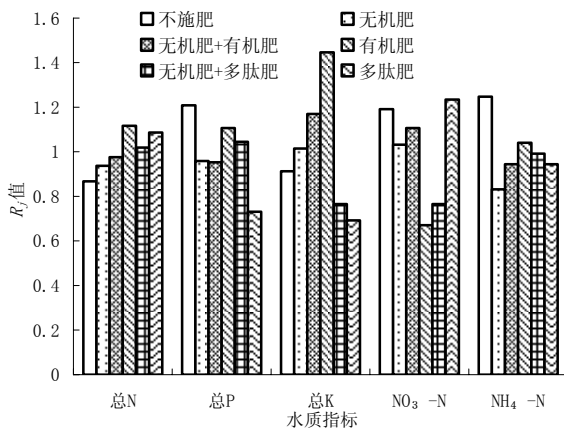


图 3 清藤期非点源产污

Fig.3 Non-point source pollution during the clear vines period of chieh-qua

指标差异来看，总 K 的输出差异系数最大 (0.28)，其中总 K 最大输出强度 (有机肥处理) 为总 K 最小输出强度 (多肽肥处理) 的 2.1 倍，总 N 输出差异系数最小(0.02)，其中总 N 最大输出强度 (有机肥处理) 为总 N 最小输出强度 (不施肥) 的 1.3 倍，表明清藤期不同施肥处理小区的非点源污染差异主要为 K 元素，总 N 的差异较小。

2.4 作物生长对非点源产污的影响

由表 3 中的 R_{ij} 值可知，各作物生长阶段污染物输出强度从大到小依次为初瓜期，清藤期，盛瓜期。各小区的非点源产污强度主要取决于产污时段的土壤养分含量及节瓜对养分的吸收量。在施用基肥和经过 3 次追肥之后，在初瓜期各小区土壤中已富集了较多的营养元素，而该时段节瓜对养分的吸收量有限，初瓜期存在营养元素存在供大于求的矛盾，故初瓜期是非点源产污量最大的时段。而进入初瓜期之后，随着产瓜量的增加，节瓜对养分的需求逐步增大，并于盛瓜期达到了顶峰。而在节瓜对养分吸收量显著增大的同时，外界输入土壤的养分量却未与节瓜的吸收量同步增大，致使土壤中的养分含量有所下降，其非点源产污能力也随之下降。就非点源污染物输出总量而言，盛瓜期是农业非点源产污量最小的时段。进入清藤期后由于无外界肥料输入，加之盛瓜期节瓜对土壤养分的大量消耗，使得清藤期的土壤养分含量为三个时段最小。但此刻由于无节瓜的吸收、固持作用，清藤期的非点源产污量仍较大，且其非点源产污强度介于初瓜期与盛瓜期之间。

从单个污染物输出强度来看，在不同节瓜生长阶段，各类污染物输出强度有所差异，总 N、NH₄-N 的最大输出强度发生在初瓜期，而总 P、总 K 的为清藤期，NO₃-N 的为盛瓜期。除外界施肥影响外，灌溉用水的养分含量，也可能是影响耕地非点源产污的重要因素。由图 4 所示，灌溉水中各养分的含量与采集水样为一致。通过相关分析发现，初瓜期、盛瓜期、清藤期进水与所采集灌溉水的水质指标相关系数分为 0.986、0.996、0.998 ($p < 0.01$)。

2.5 不同施肥状态下农业非点源产污

由图 5 可知，在整个作物生长阶段内不同施肥处理的非点源产污总量从大到小依次为，有机肥、无机肥+多肽肥、无机肥+有机肥、不施肥、多肽肥、无机肥。而由图 6 可知，N 肥的施肥量为无机肥+多肽肥>无机肥+有机肥>无机肥>多肽肥>有机肥>不施肥；P 肥、K 的施肥量均为无机肥+有机肥>无机肥+多肽肥>无机肥>有机肥>多肽肥>不施肥。总 N、总 P、总 K 的输出强度与施肥量的相关系数分别为-0.2、0.64、0.16，可见非点源污染物输出强度并不仅仅取决于施肥量的大小。

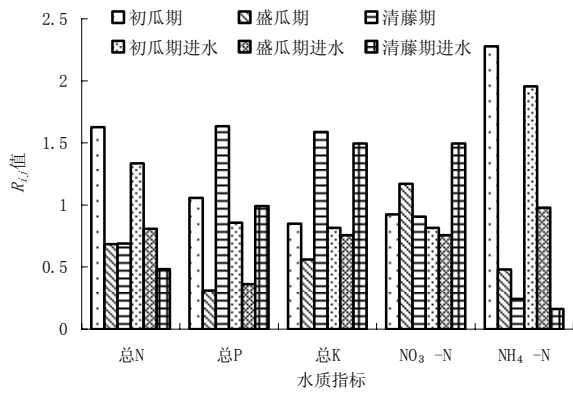


图 4 三个采样时段的水质情况

Fig.4 The water quality of three sampling periods

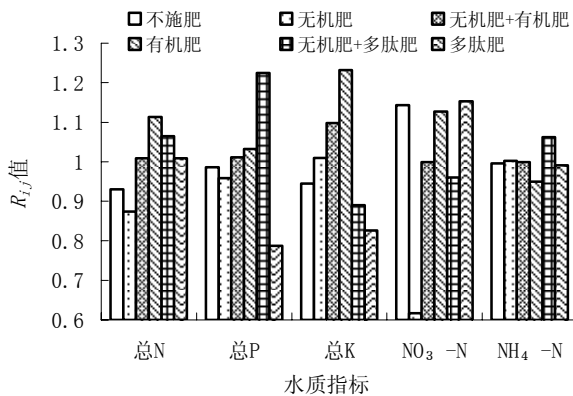


图 5 不同施肥处理的非点源产污

Fig.5 Non-point source pollution of the different fertilization treatments

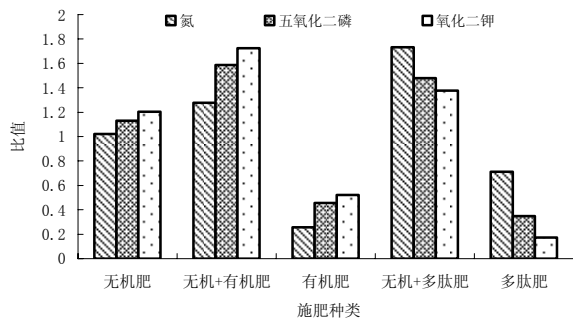


图 6 不同施肥处理的施肥量比值

Fig.6 The fertilization quantity ratio of the different fertilization treatments

非点源污染物输出强度受肥料的种类、数量及施用的方式、流失方式及作物生长阶段等因素影响。在无机肥、有机肥、多肽肥等三种类型的肥料中，无机肥肥效易于释放，理论上无机肥的非点源产污能力最强，但由于无机肥中的尿素可在无灌溉水及降雨的条件下可通过挥发方式流失，故在本试验中无机肥在有水作用下的总 N 非点源流失量反而最小。有机肥虽然肥效释放较无机肥要慢，但由于其肥效持续性较强，肥效释放速率也较为稳定，在初瓜期、盛瓜期、清藤期的非点源产污能力均较

强。而多肽肥肥效释放较慢，且其肥效释放与植物需求同步，故非点源污染物输出强度较少。不施肥小区由于无外界肥料的均衡输入，节瓜长势较差，节瓜从土壤中吸收的养分也较少，加之灌溉水本身的养分含量较大，故在无施肥小区采集的水样中营养元素含量也较大。而无机肥+有机肥，无机肥+多肽肥混合施用小区，较单纯的施用有机肥、多肽肥小区施肥总量均有较大幅度的增加，但两种施肥处理的非点源产污趋势却有所不同。无机肥+多肽肥混施小区非点源产污量较多肽肥小区有所增加。而无机肥+有机肥混施小区非点源产污量却较有机肥小区有所下降，这可能与有机肥对养分有较好的吸附作用有关。

3 结论

(1) 试验小区的非点源产污强度除受施肥量影响外，主要由产污时段的土壤养分含量及作物对养分的吸收量共同决定。在节瓜的不同生长阶段，各试验小区非点源产污强度呈现初瓜期>清藤期>盛瓜期的趋势。根据作物需求合理安排施肥的量及时间，有利于减少农业非点源污染。

(2) 在节瓜的不同生长阶段，各营养元素的输出也有所差异，总 N、NH₄-N 的最大输出时段为初瓜期，NO₃-N 的最大输出强度时段为盛瓜期，而总 P、总 K 的最大输出时段为清藤期，表明不同生长阶段作物对各类养分的吸收也有所侧重。

(3) 在有水作用下，整个作物生长阶段内各施肥处理小区的非点源产污总量从大到小依次为，有机肥、无机肥+多肽肥、无机肥+有机肥、不施肥、多肽肥、无机肥。试验所用多肽肥具有肥效释放量与节瓜需求量同步的特点，其非点源污染物输出强度较少，该多肽肥具有一定的减污效果。

致谢: 感谢广东省生态环境与土壤研究所李淑仪研究员、王荣萍副研究员和蓝佩玲研究员协助完成田间试验与样品采集分析!

参考文献:

[1] 杨小峰, 别之龙. 氮磷钾施用量对水培生菜生长和品质的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24 (Supp 2): 265-269.
 YANG Xiaofeng, BIE Zhilong. Effects of the amount of application of N, P, K on the growth and quality of lettuce[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24 (Supp 2): 265-269.

[2] BABIKER I S, MOHAMED M A A, TERAQ H, et al. Assessment of groundwater contamination by nitrate leaching from intensive vegetable cultivation using geographical information system[J]. Environ Int, 2004, 29(8):1009-1017.

[3] 杨丽霞, 杨桂山, 苑韶峰, 等. 不同雨强条件下太湖流域典型蔬菜地土壤磷素的径流特征[J]. 环境科学, 2007, 28 (8): 1763-1769.
 YANG Lixia, YANG Guishan, YUAN Shaofeng, WU Ye. Characteristics of Soil Phosphorus Runoff Under Different Rainfall Intensities in the Typical Vegetable Plot of Taihu Basin [J].

- ENVIRONMENTAL SCIENCE, 2007, 28 (8): 1763-1769.
- [4] MCDOWELL R W, SHARPLEY A N. Approximating phosphorus release from soils to surface runoff and subsurface drainage [J]. *Journal Environmental Quality*, 2001, 30: 508-520.
- [5] VITOUSEK P M, NAYLOR R, CREWS T, et al. Nutrient Imbalances in Agricultural Development [J]. *SCIENCE*, 2009, June 19: 1519-1520
- [6] GUO J H, LIU X J, ZHANG Y, et al. Significant Acidification in Major Chinese Croplands [J]. *SCIENCE*, 2010, February, 19: 1008-1010
- [7] 张永春, 汪吉东, 沈明星, 等. 长期不同施肥对太湖地区典型土壤酸化的影响 [J]. *土壤学报*, 2010, 47 (3): 465-472.
ZHANG Yongchun, WANG Jidong, SHEN Mingxing et al., EFFECTS OF LONG-TERM FERTILIZATION ON SOIL ACIDIFICATION IN TA IHU LAKE REGION, CHINA [J]. *ACTA PEDOLOGICA SINICA*, 2010, 47 (3): 465-472.
- [8] 李东坡, 武志杰. 化学肥料的土壤生态环境效应 [J]. *应用生态学报*, 2008, 19 (5): 1158-1165.
LI Dongpo, WU Zhijie. Impact of chemical fertilizers application on soil ecological environment [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, May 2008, 19 (5): 1158-1165.
- [9] 张相松, 隋方功, 刘兆辉, 等. 不同供氮水平对大葱土壤硝态氮运移及品质影响的研究 [J]. *土壤通报*, 2010, 41 (1): 170-174.
ZHANG Xiangsong, SUI Fanggong, LIU Zhaohui, et al. Effects of N Applied Rates on Movement of Soil NO₃-N and Quality of Chinese Onion [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2010, 41 (1): 170-174
- [10] TILMAN D, FARGIONE J, WOLFF B, et al. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*, 2001, 292(5515): 281-284.
- [11] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形式估计及控制对策 I. 21 世纪初期中国农业面源污染的形式估计 [J]. *中国农业科学*, 2004, 37 (7): 1008-1017.
ZHANG Weili, WU Shuxia, JI Hongjie. Estimation of Agricultural Non-Point Source Pollution in China and the Alleviating Strategies: I. Estimation of Agricultural Non-Point Source Pollution in China in Early 21 Century [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(7): 1008-1017.
- [12] INAMDAR S P, MOSTAGHIMI S, MCCLELLAN P W, et al. BMP impacts on sediment and nutrient yields from an agricultural watershed in the coastal plain region [J]. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineering*, 2001, 44(5): 1191-1200.
- [13] 沈虹, 张万顺, 彭虹, 等. 汉江中下游非点源磷负荷对水质的影响 [J]. *武汉大学学报: 工学版*, 2011, 44 (1): 26-31.
SHEN Hong, ZHANG Wanshun, WENG hong, et al. Impact of non-point pollution of phosphorus on water quality [J]. *Engineering Journal of Wuhan University*, 2011, 44 (1): 26-31.
- [14] 于红梅, 李子忠, 龚元石. 传统和优化水氮管理对蔬菜地土壤氮素损失与利用效率的影响 [J]. *农业工程学报*, 2007, 23 (2): 54-59.
YU Hongmei, LI Zizhong, GONG Yuanshi. Comparison of nitrogen loss and use efficiency of vegetable in vegetable field under traditional and improved water and N-fertilizer management [J]. *Transactions of the CSA E*, 2007, 23 (2): 54-59.
- [15] 左海军, 张奇, 马履一, 等. 不同种植方式下农田渗漏水硝态氮含量的动态变化特征研究 [J]. *水土保持学报*, 2010, 24 (5): 174-179.
ZUO Haijun, ZHANG Qi, Ma Lvyi, et al. Dynamic Variation Characteristics of Nitrate Nitrogen Concentration in Farmland Leaching Water under Different Planting Patterns [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(5): 174-179.
- [16] 田耀武, 黄志霖, 肖文发. 三峡库区黑沟小流域非点源污染物输出动态变化 [J]. *环境科学*, 2011, 32 (2): 423-427.
TIAN Yaowu, HUANG Zhilin, XIAO Wenfa. Dynamic Change of Non-point Source Pollution Exported from Heigou Watershed in Three Gorges Reservoir Area [J]. *ENVIRONMENTAL SCIENCE*, 2011, 32 (2): 423-427.
- [17] 宁建凤, 徐培智, 杨少海, 等. 有机无机肥配施对菜地土壤氮素径流流失的影响 [J]. *水土保持学报*, 2011, 25 (3): 17-21.
NING Jianfeng, XU Peizhi, YANG Shaohai, et al. Effects of Combined Application of Organic and Inorganic Fertilizer on Soil Nitrogen Runoff in Vegetable Field [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, 25 (3): 17-21.
- [18] 沈世华, 朱至清. 新型植物生长调节物质——激素性多肽的研究进展 [J]. *植物学通报*, 1999, 16(6): 648-652
SHEN Shihua, ZHU Zhiqing. Advances in Research of Novel Plant Growth Regulating Substance 'Hormone-Like Peptides' [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 1999, 16(6): 648-652.
- [19] 门敬菊. 大豆多肽与植物生长调节剂对毛脉酸模生长及根中生物活性成分的影响 [D]. 哈尔滨: 黑龙江中医药大学硕士学位论文, 2006
MEN Jingju. Effects of Soybean Peptide and Plant Growth Regulators on the Biological Yield in Roots and Activated Constituents of Rumex Gmelini Turcz [D]. Harbin: Heilongjiang University of Chinese Medicine, Master's degree thesis, 2006.

Impact of fertilizer and crop growth on non-point source pollution

LIAO Yishan, ZHUO Muning*, LI Dingqiang, LIAO Xinrong, GUO Tilong, QIAO Yuna

Guangdong Institute of Eco-environmental and Soil Sciences, Guangdong Key Laboratory of Integrated Control of Agro-Environment, Guangzhou 510650, China

Abstract: In order to reveal the impact of fertilizer and crop growth on non-point source pollution, 6 kinds of manure fertilization treatments were placed on the chieh-qua field: no fertilizer, inorganic fertilizer, inorganic fertilizer + organic fertilizer, organic fertilizer, organic fertilizer, fertilizer + peptide and peptide fertilizer. The soils in these treatments were soaked in the early growth period, mid-growth period and clear cane period of chieh-qua respectively, to test non-point source pollution level of field soils under different fertilization and crops. Study results showed that non-point source pollution intensity of each experimental plot decreased in the order: the early growth period > the clear vines period > the mid-growth period. The nutrient output varied in the different growth periods of chieh-qua. The maximum TN and NH₄-N output was in the early growth period. The maximum TP and TK output was in the clear vines period. The maximum NO₃-N output was in the mid-growth period. In the state of water, under different fertilizer treatments throughout the crop growth periods, the non-point source pollution decreased in the order: organic fertilizer, inorganic fertilizer + peptide fertilizer, inorganic fertilizer + organic fertilizer, no fertilizer, peptide fertilizer, inorganic fertilizer. Study proved that the peptide can reduce pollution to some extent.

Key words: fertilizer; peptide fertilizer; non-point source pollution; vegetable