

洞庭湖平原菜园土壤养分径流规律及其影响因素*

汤 宏¹ 张杨珠^{1†} 龙怀玉² 黄运湘¹ 廖超林¹
曾掌权³ 侯金权¹ 和利钊¹

(1 湖南农业大学资源环境学院,长沙 410128)

(2 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所,北京 100081)

(3 中国科学院沈阳应用生态研究所,沈阳 110016)

摘 要 通过定位大田和田间小区试验,研究了不同蔬菜类型及不同施肥结构对菜园土壤养分径流损失的影响。结果表明:菜园土壤养分径流损失以氮为主,钾素次之,磷素最少。种植辣椒作物由于施肥量大于南瓜,氮、磷、钾养分的淋失显著高于南瓜地。白菜地磷、钾养分的淋失显著高于甘蓝地。春、夏季蔬菜地氮、磷、钾养分的淋失高于秋、冬季蔬菜地。在茄子生育前期,当地菜农习惯施肥处理(CK₂),氮、磷养分的淋失较其他处理严重,单施化肥处理(NPK),钾养分的淋失较其他处理严重。白菜、甘蓝地前 2 次径流水样中,习惯施肥和单施化肥处理氮、磷、钾养分的淋失较其他处理严重。施用有机肥料,在蔬菜生育后期氮、磷、钾养分的淋失大于其他处理,维持较高的水平。不施肥处理,也存在着养分的损失,且数量较大,在生产实践中应加强土壤养分资源的管理和高效利用。

关键词 菜园土壤;施肥结构;养分径流;洞庭湖

中图分类号 S157.4⁺1;S19 **文献标识码** A

蔬菜种植以其产值高,经济效益好而倍受广大菜农喜欢。洞庭湖平原是我国南方的主要蔬菜生产基地,复种指数高,一年两季、三季甚至四季。农民习惯施肥用量偏高,特别是氮肥、磷肥和复合肥。土壤吸附和植物对所施肥料养分的吸收是有限的,且易造成土壤养分过量积累和次生盐渍化^[1-2],并严重影响蔬菜产品的品质^[3-10]。湖南地处亚热带季风湿润气候区,雨量充沛,在雨季易形成地表径流而使肥料养分流失,造成对环境的污染^[11-15]和肥料资源的浪费^[16-17]。目前有关南方地区菜地地表径流中氮、磷养分流失特征的研究报道尚少。为此,本研究选择位于东洞庭湖的岳阳君山区蔬菜基地,研究该区地表径流中氮、磷、钾养分流失的特征,以期为我国南方蔬菜地肥料的合理施用和防治菜地生态系统面源污染、保护农业生态环境提供科学

依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

本研究选择湖南岳阳君山区具有多年蔬菜种植历史的广兴洲镇合兴村作为典型研究区。该区地处 29°29'30" ~ 29°30'48" N 和 112°50'36" ~ 112°53'53"E 之间,属于洞庭湖平原范围,距离岳阳市 30 km。洞庭湖位于中亚热带向北亚热带过渡气候区,即属亚热带季风性气候区,多年平均气温在 16.4 ~ 17.0 °C 之间,雨量充沛,年均降水量为 1 250 ~ 1 450 mm,无霜期 258 ~ 275 d。土壤由洞庭湖冲积物发育而成,中性至微碱性,质地为砂质壤土。供试大田土壤基本理化性状见表 1:

* 国家科技支撑计划项目(2006BAD17B08-03)资助

† 通讯作者,E-mail: zhangyangzhu2006@163.com

作者简介:汤 宏(1974—),男,湖南益阳人,博士研究生,主要从事土壤化学与生态环境方面的研究。E-mail: 945697928@qq.com

收稿日期:2010-08-03;收到修改稿日期:2011-05-10

表 1 土壤基本理化性状

Table 1 Basic physical and chemical properties of the tested soils in eggplant, Chinese cabbage and cabbage fields

蔬菜地 Vegetable field	全氮 TN (g kg ⁻¹)	碱解氮 AN (mg kg ⁻¹)	全磷 TP (g kg ⁻¹)	有效磷 Olsen-P (mg kg ⁻¹)	全钾 TK (g kg ⁻¹)	速效钾 NH ₄ OAc-K (mg kg ⁻¹)	阳离子交换量 CEC (cmol kg ⁻¹)	pH (H ₂ O)	有机质 OM (g kg ⁻¹)
茄子 Eggplant	1.41	93.9	1.20	15.6	19.5	45.6	14.31	8.00	22.77
甘蓝 Cabbage	1.18	52.1	1.09	14.3	19.01	36.2	10.81	8.02	17.61
白菜 Chinese cabbage	1.30	56.7	1.23	11.2	17.52	39.4	12.62	8.11	19.57

1.2 试验设计与方法

1.2.1 定位大田养分径流动态研究 分别选取在常规施肥条件下种植南瓜和辣椒 2 种春、夏季蔬菜作物的 4 块定位田,设置径流水收集装置(先在定位田的中心位置挖一小坑,然后将一高为 18.8 cm、直径为 22.8 cm 的塑料桶埋入坑内,塑料桶的埋深低于土面 20 cm,并在桶的上缘部分打若干小孔,以便收集更多的地表径流)。每次降雨后,收集动态径流水样,测定水样中总氮、总磷、总钾的浓度,以了解不同蔬菜种植条件下菜园土壤氮、磷养分的径流淋失规律。

1.2.2 田间小区试验 选择肥力水平均匀的另外的田块进行小区试验,供试作物春、夏季为茄子,秋、冬季为白菜和甘蓝。采用田间小区试验进行研究。试验共设置 6 个施肥处理(即 6 种不同施肥结构):(1)空白对照处理(CK₁),不施肥;(2)当地菜农习惯施肥处理(CK₂),各种肥料的施用量分别为:碳酸氢铵 1 500 kg hm⁻²,过磷酸钙 1 500 kg hm⁻²,鄂中牌复合肥 750 kg hm⁻²。N、P₂O₅、K₂O 三种养分一季的总施用量分别为 369.0、292.5、112.5 kg hm⁻²;(3)化肥处理(NPK),分别用尿素、过磷酸钙和氯化钾作肥源;(4)粪肥(本试验中所施的粪肥均为腐熟的牛粪)与无机化肥配合施用处理(NPKM₁),以施氮量为标准计算有机与无机肥料施用量,有机无机氮各占 50%,除去有机肥料中的磷、钾含量,不足的磷、钾养分分别以过磷酸钙和氯化钾补足;(5)菜饼肥与无机化肥配合施用处理(NPKM₂),养分的计算方法和用量与 NPKM₁处理相同;(6)蔬菜专用有机肥处理(VSF),以氮为标准计算专用肥料用量,不足的磷、钾养分分别以过磷酸钙和氯化钾补足。其中 NPK、NPKM₁、NPKM₂和 VSF 4 个施肥处理氮、磷、钾养分施用量一致,N、P₂O₅、K₂O 一季的施用量分别为 225、112.5、225 kg hm⁻²,有机肥和磷、钾肥作为基肥于播种时与耕层土壤混匀,一次性施入土壤。氮肥按基追比为 6:4 施用,追

肥于旺长期施用。本试验中所用化学肥料及养分含量如下:化学氮肥为尿素(含氮:464 g kg⁻¹)和碳酸氢铵(含氮:171 g kg⁻¹),化学磷肥为过钙磷酸钙(含 P₂O₅:120 g kg⁻¹),化学钾肥为氯化钾(含 K₂O:600 g kg⁻¹)。所用有机肥料及复合肥料如下:牛粪、菜饼肥、蔬菜专用肥、鄂中牌复合肥中 N、P₂O₅、K₂O 养分含量的质量比分别为 11.9 g kg⁻¹:8.5 g kg⁻¹:23.5 g kg⁻¹;55.2 g kg⁻¹:26 g kg⁻¹:15.1 g kg⁻¹;180 g kg⁻¹:60 g kg⁻¹:50 g kg⁻¹;150 g kg⁻¹:150 g kg⁻¹:150 g kg⁻¹。白菜和甘蓝于 2008 年 9 月 6 日移栽,白菜于 11 月 19 日收获,甘蓝于 2009 年 1 月 6 日收获。茄子于 2009 年 4 月 22 日移栽,7 月 31 日最后一次收获。白菜、甘蓝和茄子全生育期内肥、水等的管理措施参考当地传统种植习惯,均采用常规管理模式且完全一致。各处理中,茄子、白菜为 3 次重复,甘蓝为 4 次重复,随机区组排列。每小区面积 4 m × 6 m = 24 m²,共 60 个小区。为了防止各小区间发生水分和养分的交换,每个小区的周围垂直埋以 80 cm 深的塑料板将各个小区隔开。于作物生育期间收集各处理下雨后的径流水,并测定径流水的养分浓度,径流水收集与测定项目同大田定位田的养分径流动态研究。另在每个施肥处理中选取一个小区(根据试验的具体情况)并垂直埋入一口径为 120 cm 的大水缸作为承接径流水的径流池,径流池与小区间以 PVC 管连接,用于收集径流水。PVC 管保持水平,以利于径流水的收集。每个径流池上盖有盖子,不用时将盖子盖上。

1.3 样品采集与分析

于试验前采集做小区试验的三块大田耕层混合土样,了解试验地土壤的基本理化性质及肥力状况。蔬菜生长期间,收集有关降雨的信息资料,每次降雨后收集试验区地表径流水样,每次采集径流水 500 ml 左右,立即分析测定。

土壤样品按常规分析方法测定^[18]。水样中总氮、总磷、总钾养分含量的测定方法分别为:碱性过

硫酸钾氧化-紫外分光光度计比色法测总氮;过硫酸钾氧化-钼蓝比色法测总磷;火焰光度计法测总钾。径流流失量的计算方法:将所测得的径流水中磷素、钾素和氮素的浓度与径流水量相乘,即得到磷、钾和氮的径流流失量。

1.4 数据处理

试验数据经 Excel 2003 整理后,应用 DPS V7.05 版统计软件进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

洞庭湖地区全年降水主要集中在春、夏季(3月至8月),上半年的降雨量占全年降雨量的2/3以上。于4月24日、5月1日、5月20日、6月9日、6月30日、7月27日试验区内降雨量较大,形成了地表径流,对径流水样及时收集并进行检测分析。

2.1 定位大田的养分径流淋失

由表2可知,定位大田中氮、磷、钾养分的淋失

量在蔬菜生长的前、中期基本呈下降趋势,即随着时间的推移养分淋失量逐渐减小。但总氮的浓度在南瓜、辣椒生长的中、后期却有呈增加的趋势。这与当地的农业生产技术措施有关,因为蔬菜地均覆盖了地膜(有地膜覆盖的养分径流淋失量比无地膜覆盖的小),但到了蔬菜生长的后期,由于气温回升,再加上田间除草,地膜破损,定位试验田在辣椒、南瓜生长的后期追施了氮肥尿素,所以第6次水样中养分淋失量反而增加。就辣椒和南瓜这两种蔬菜而言,每次收集的径流液中无论是总氮、总磷,还是总钾南瓜地流失的各种养分的含量均低于辣椒地各种养分的含量。这与当地菜农种植南瓜时施用的肥料量明显低于辣椒的施肥量有关,而种植辣椒时明显过量施用氮肥与磷肥,造成土壤中氮、磷肥料的过剩,在雨量较多的春、夏季,土壤中的肥料养分流失则更加严重。化学肥料施用量越大养分流失越严重。

表2 定位大田不同时间径流水样中养分浓度

Table 2 Nutrient concentrations in runoff water sampled at different times from the fields(mg L⁻¹)

蔬菜种类 Vegetables	养分名称 Nutrients name	日期 Date (mm-dd)					
		04-24	05-01	05-20	06-09	06-30	07-27
P ₁ P ₂ HP ₁ HP ₂	总氮 TN	18.20	18.02	22.19	8.56	9.20	27.26
		11.15	11.40	19.68	14.09	8.53	28.08
		25.56	27.75	25.63	19.52	7.83	28.30
		22.32	18.95	18.71	20.49	8.57	28.93
P ₁ P ₂ HP ₁ HP ₂	总磷 TP	0.47	0.22	0.25	0.25	0.52	0.08
		0.24	0.20	0.06	0.13	0.13	0.07
		0.26	0.19	0.29	0.13	0.12	0.10
		0.29	0.50	0.14	0.16	0.16	0.20
P ₁ P ₂ HP ₁ HP ₂	总钾 TK	1.91	1.32	2.43	1.13	4.75	0.30
		0.29	1.32	0.56	0.60	1.30	0.24
		1.91	0.93	2.43	1.13	2.35	2.27
		3.93	5.64	4.68	2.70	1.51	2.27

注:P₁、P₂、HP₁和HP₂分别代表南瓜1(定位大田1)、南瓜2(定位大田2)、辣椒1(定位大田3)、辣椒2(定位大田4) Note: P₁, P₂, HP₁ and HP₂ stands for pumpkin 1 (Stationary field #1), pumpkin 2 (Stationary field #2), hot pepper 1 (Stationary field #3) and hot pepper 2 (Stationary field #4), respectively

2.2 茄子小区试验中不同施肥处理的养分径流规律

2.2.1 茄子地径流水中的养分 表3表明,不同施肥处理茄子地总氮的径流淋失在茄子生长的前、中期均很明显。随着时间的推移,各处理氮淋失的总趋势均呈下降趋势。NPKM₁、NPKM₂和VSF处理在茄子生长期间养分淋失也较严重,在后期VSF处

理径流水中养分浓度最高,达到20.04 mg L⁻¹,不施肥处理氮素养分淋失也较严重,这与当地蔬菜复种指数高,施肥量大,即前茬作物残留的肥料多有关。

由径流水中磷浓度数据可知,磷的浓度远低于氮和钾的浓度。不同处理之间磷素流失差异不大,只有在第一次径流淋失时,CK₂处理径流水中磷的浓

度明显高于其他各处理。在后期的径流水样中,各处理之间养分含量差异不显著。但各有机肥处理的径流样中总磷含量在各处理中一直处于较高水平,这可能是有机肥对磷的活化,促进了磷的释放,从而产生较高的径流淋失量。不施肥处理径流水中磷的浓度也较高。

由径流水中钾浓度可以看出,茄子地钾的淋失主要集中在茄子生长的前、中期。但其浓度低于氮素,高于磷素。茄子生长前期,各处理径流水钾素浓度差别大,第一次降雨以 NPK 处理流失的钾素浓度

最大,NPKM₁处理钾浓度最小,之后的径流水中钾素的含量以 NPKM₂和 VSF 处理含量较高,故在蔬菜的生产中有机肥施用量过大也会引起钾的流失。从不同时间段收集的径流水样来看,钾素养分的淋失动态与氮不同。中、后期钾养分径流淋失变化规律不明显,表现为较持久的淋洗过程。不施肥处理也存在一定的淋失,且浓度超过 NPKM₁处理,这与研究区土壤质地为砂质壤土、阳离子交换量较低等密切相关,也是研究区菜地土壤全钾和速效钾含量低的一个重要原因。

表 3 茄子小区试验不同时间径流水样中养分的浓度

Table 3 Nutrient concentrations in runoff water sampled at different times from eggplant field (mg L⁻¹)

处理 Treatments	养分名称 Nutrients name	日期 Date (mm-dd)					
		04-24	05-01	05-20	06-09	06-30	07-27
CK ₁	总氮 TN	23.45	26.07	26.47	18.30	10.11	3.00
CK ₂		38.22	35.50	26.20	19.78	11.28	2.67
NPK		25.70	26.18	25.78	18.64	10.87	3.51
NPKM ₁		17.62	23.79	25.22	17.45	10.21	2.46
NPKM ₂		21.65	23.00	25.14	16.85	10.27	1.92
VSF		23.67	26.57	25.32	21.00	20.04	1.68
CK ₁	总磷 TP	0.56	0.17	0.06	0.13	0.18	0.08
CK ₂		0.70	0.17	0.09	0.15	0.24	0.05
NPK		0.58	0.22	0.10	0.14	0.22	0.05
NPKM ₁		0.55	0.16	0.11	0.22	0.32	0.06
NPKM ₂		0.68	0.15	0.12	0.18	0.25	0.04
VSF		0.57	0.18	0.12	0.13	0.23	0.06
CK ₁	总钾 TK	12.00	8.39	5.88	0.60	2.35	0.14
CK ₂		14.43	11.14	7.45	0.60	2.95	0.35
NPK		27.75	15.46	14.11	2.18	2.50	0.40
NPKM ₁		9.58	9.96	14.11	5.32	5.65	0.30
NPKM ₂		15.64	6.04	3.14	3.75	3.85	0.24
VSF		17.25	16.24	17.24	5.21	3.85	0.19

2.2.2 茄子地径流中氮、磷、钾的流失量 表 4 为茄子在整个生长季各次径流的径流量。从中可见,各次径流量的差异较大,其中 4 月 24 日及 7 月 27 日的量居多。降水量的大小影响径流量的大小,进而影响径流损失量的大小^[19-20]。

由表 5 可见,各处理间氮的总流失量均达到极显著性差异。以 CK₂处理流失量最高,以 NPKM₁处理流失量最低。各配施有机肥氮的总流失量较 CK₂处理低。以 NPKM₁处理和 CK₂处理为例,CK₂处理氮的

总流失量为 NPKM₁处理的 1.48 倍。NPKM₁和 NPKM₂处理氮的总流失量较 NPK 处理低。这些可能与有机肥是一种缓效肥有重要关系。此外,CK₁处理氮的流失也较严重,这与当地蔬菜生产习惯,氮肥施用量大有关。

由表 5 可知,各处理磷的总流失量较氮的流失量小。这与磷肥的难溶等特性以及土壤的吸附等因素有密切的关系,也与当地生产习惯有关(据调查,一般每年的蔬菜生产中只施一次磷肥)。

表 4 茄子生育期内径流量

Table 4 Quantities of runoff water during the eggplant growing period(L plot⁻¹)

处理 Treatments	日期 Date (mm-dd)					
	04-24	05-01	05-20	06-09	06-30	07-27
CK ₁	504	264	240	384	168	400
CK ₂	510	264	244	386	168	408
NPK	505	266	246	387	170	408
NPKM ₁	508	268	245	382	172	402
NPKM ₂	504	267	248	388	168	403
VSF	506	264	240	380	168	408

注:每小区 = 24 m²。下同 Note: 1 plot = 24 m². The same below

表 5 茄子全生育期内氮、磷、钾的流失量

Table 5 N, P and K losses with runoff during the eggplant growing period

处理 Treatments	养分名称 Nutrients name	日期 Date (mm-dd)						合计 Total account (perseason)
		04-24	05-01	05-20	06-09	06-30	07-27	
CK ₁	总氮 TN (kg hm ⁻²)	4.93	2.87	2.65	2.93	0.708	0.500	14.6dD
CK ₂		8.12	3.91	2.66	3.18	0.790	0.454	19.1aA
NPK		5.41	2.90	2.64	3.01	0.770	0.597	15.3cC
NPKM ₁		3.73	2.66	2.58	2.78	0.732	0.412	12.9fF
NPKM ₂		4.55	2.56	2.60	2.73	0.719	0.323	13.5eE
VSF		4.99	2.92	2.53	3.33	1.40	0.286	15.5bB
CK ₁		总磷 TP (g hm ⁻²)	118	19	6	21	13	13
CK ₂	149		19	9	24	17	9	226aA
NPK	122		24	10	23	16	9	203cBC
NPKM ₁	116		18	11	35	23	10	214bAB
NPKM ₂	143		17	12	29	18	7	225aA
VSF	120		20	12	21	16	10	199cC
CK ₁	总钾 TK (g hm ⁻²)		2520	923	588	96	165	23
CK ₂		3070	1230	758	97	207	60	5410dD
NPK		5840	1710	1450	352	177	68	9600aA
NPKM ₁		2030	1110	1440	847	405	50	5890cC
NPKM ₂		3290	672	325	607	270	40	5200eE
VSF		3640	1790	1720	825	270	32	8280bB

注:同一列中数字含有相同字母者差异不显著,小写字母和大写字母分别表示 0.05 和 0.01 差异显著性水平。下同 Note: Numbers in the same column suffixed with the same letter are not significantly different, and different small letters and capital letters indicate significant difference at 5% and 1% level. The same below

从表 5 中可见,各处理间钾的总流失量均达到极显著性差异。以 NPK 处理流失量最高,以 CK₁ 处理流失量最低。NPKM₁ 和 NPKM₂ 钾的总流失量较 NPK 处理低。以 NPK 处理和 NPKM₂ 处理为例, NPK 处理氮的总流失量为 NPKM₂ 处理的 1.85 倍。NPKM₂ 和 VSF 处理钾的总流失量较 NPK 处理低。这些均与 NPKM₁、NPKM₂ 和 VSF 处理配施了有机肥

有重要的关系。此外,CK₁ 处理钾的流失也较严重,这与蔬菜生产施肥量大的特点有关。

2.3 白菜、甘蓝小区试验中不同处理的养分径流规律

2.3.1 白菜和甘蓝地径流水中的养分 由表 6 可知,白菜小区试验各处理径流水中氮素含量的变化规律均呈现先增加后减少的趋势。第二次径流

水样中(10月21日即移栽后45d)各处理的径流水中氮的浓度均达到最大且又以CK₂处理氮的浓度最高,径流水中养分浓度达到38.22 mg L⁻¹,其次为NPK处理,径流水中养分浓度为29.88 mg L⁻¹。甘蓝小区试验各处理径流水中氮的浓度均呈现逐渐减少的趋势。各处理第一次径流水中氮的浓度最大,而到最后一次径流水中,除无肥处理最后一次养分淋失量较前一次增加外其余各处理养分的氮的浓度均较前一次要小。各处理径流水中以CK₂处理的氮素养分含量较高。

由表6可以看出,白菜和甘蓝小区试验各处理径流水中磷素浓度较氮的浓度要低,径流水中磷素浓度很小。白菜小区试验各处理径流水中磷素浓度变化规律不明显,甘蓝各小区试验各处理除CK₂处理外均呈现相同的变化规律,即径流水中磷素的浓度呈现先增大后减小的变化趋势,而NPKM₂处理最后一次径流水中养分含量达到最大,径流水中养分浓度为0.27 mg L⁻¹。这可能是菜饼肥分解产生的有机酸等对磷的活化,促进了磷的释放,从而产生较高的径流淋失量。

表6 白菜、甘蓝小区试验不同时间径流水样中养分的浓度

Table 6 Nutrient concentrations in runoff water sampled at different times from Chinese cabbage and cabbage fields (mg L⁻¹)

处理 Treatments	养分名称 Nutrients name	日期 Date (mm-dd)							
		10-05		10-21		10-31		11-07	
		白菜 Chinese cabbage	甘蓝 Cabbage	白菜 Chinese cabbage	甘蓝 Cabbage	白菜 Chinese cabbage	甘蓝 Cabbage	白菜 Chinese cabbage	甘蓝 Cabbage
CK ₁	总氮 TN	5.10	44.06	15.19	13.24	5.10	5.83	6.86	13.2
CK ₂		5.61	45.77	40.04	13.46	8.18	7.76	6.64	5.61
NPK		5.71	44.81	29.88	15.42	8.53	6.19	6.51	4.03
NPKM ₁		4.96	42.43	16.33	10.29	9.08	3.86	7.03	4.35
NPKM ₂		7.47	36.25	20.30	12.89	7.52	4.03	8.57	4.29
VSF		7.34	37.97	26.96	15.63	8.40	3.56	7.88	3.73
CK ₁	总磷 TP	0.05	0.02	0.06	0.06	0.27	0.03	0.08	0.02
CK ₂		0.09	0.15	0.07	0.11	0.18	0.09	0.08	0.02
NPK		0.14	0.09	0.13	0.11	0.13	0.04	0.27	0.02
NPKM ₁		0.07	0.07	0.11	0.08	0.16	0.03	0.10	0.05
NPKM ₂		0.08	0.03	0.09	0.07	0.10	0.03	0.14	0.27
VSF		0.14	0.04	0.05	0.06	1.32	0.04	0.23	0.02
CK ₁	总钾 TK	0.52	0.52	1.20	0.35	1.20	0.21	1.28	0.31
CK ₂		0.94	0.54	3.30	0.48	1.93	0.22	1.66	0.23
NPK		0.91	0.48	2.05	0.43	1.77	0.24	1.98	0.31
NPKM ₁		0.75	0.42	1.53	0.35	2.84	0.22	2.55	0.29
NPKM ₂		0.86	0.39	1.86	0.42	2.20	0.24	1.85	0.32
VSF		0.75	0.42	1.35	0.39	2.20	0.39	2.46	0.31

由表6可知,白菜小区试验径流水中各处理除CK₂处理外钾素养分浓度均呈逐渐增大的趋势。CK₂处理第2次(10月21日)径流水中养分浓度达到最大,径流水中养分浓度为3.30 mg L⁻¹。CK₂、NPKM₁和NPKM₂处理在最后一次径流水中养分含量较前一次小。甘蓝小区试验各处理径流水中钾素浓度除NPKM₂处理外均呈现相同的变化规律,即前3次径流水样中养分浓度呈现逐渐减小的变化趋

势,第4次径流水样中养分浓度较前一次增大,以CK₂处理钾素养分浓度最大。

2.3.2 白菜和甘蓝地径流中养分的流失量 表7为白菜和甘蓝在整个生长季各次径流的径流量。从中可见,各次径流量的差异较大,其中10月21日及10月31日的量居多。

从表8可见,白菜各处理间氮的总流失量均达到极显著性差异。以CK₂处理流失量最高,施肥处

理中以 NPKM₁ 处理流失量最低。各配施有机肥处理氮的总流失量较 CK₂ 处理低。以 NPKM₁ 处理和 CK₂ 处理为例,CK₂ 处理氮的总流失量为 NPKM₁ 处理的 1.68 倍。各有机肥配施处理氮的总流失量较 NPK 处理低。CK₁ 处理氮的流失也较严重。甘蓝 CK₁、CK₂ 和 NPK 三处理氮的总流失量与 NPKM₁、

NPKM₂ 和 VSF 三处理相比均达到极显著性差异。但各处理间氮的总流失量的绝对量相差不大。也以 CK₂ 处理流失量最高,施肥处理中以 NPKM₂ 处理流失量最低。各配施有机肥氮的总流失量较 CK₂ 和 NPK 处理低。CK₁ 处理氮的流失也很严重。

表 7 白菜、甘蓝生育期内径流量

Table 7 Quantities of runoff during the whole growing period of Chinese cabbage and cabbage(L plot⁻¹)

处理 Treatments	日期 Date (mm-dd)			
	10-05	10-21	10-31	11-07
CK ₁	384	432	504	193
CK ₂	386	432	508	192
NPK	382	436	504	192
NPKM ₁	383	430	502	192
NPKM ₂	384	432	501	188
VSF	386	436	506	185

表 8 白菜、甘蓝全生育期内氮、磷、钾的流失量

Table 8 N, P and K losses with runoff during the whole growing period of Chinese cabbage and cabbage

处理 Treatments	养分名称 Nutrients name	日期 Date(mm-dd)								合计	
		10-05		10-21		10-31		11-07		Total account(per season)	
		白菜 Chinese cabbage	甘蓝 Cabbage	白菜 Chinese cabbage	甘蓝 Cabbage	白菜 Chinese cabbage	甘蓝 Cabbage	白菜 Chinese cabbage	甘蓝 Cabbage	白菜 Chinese cabbage	甘蓝 Cabbage
CK ₁	总氮 TN (kg hm ⁻²)	0.816	7.05	2.74	2.38	1.07	1.22	0.552	1.06	5.18f F	11.7bB
CK ₂		0.903	7.36	7.21	2.42	1.73	1.64	0.531	0.449	10.4aA	11.9aA
NPK		0.909	7.14	5.43	2.80	1.79	1.30	0.521	0.323	8.65bB	11.6cC
NPKM ₁		0.792	6.77	2.93	1.84	1.90	0.808	0.563	0.348	6.18eE	9.78eE
NPKM ₂		1.20	5.80	3.66	2.32	1.57	0.842	0.672	0.336	7.09dD	9.30fF
VSF		1.18	6.11	4.90	2.84	1.77	0.751	0.608	0.288	8.46cC	9.99dD
CK ₁		总磷 TP (g hm ⁻²)	8	3	11	11	57	6	6	2	82cC
CK ₂	14		24	13	20	38	19	6	2	72dCD	65aA
NPK	22		14	24	20	27	8	22	2	95bB	44bB
NPKM ₁	11		11	20	14	33	6	8	4	72dCD	36cC
NPKM ₂	13		5	16	13	21	6	11	21	61eD	45bB
VSF	23		6	9	11	278	8	18	2	328aA	27dD
CK ₁	总钾 TK (g hm ⁻²)		83	83	216	63	252	44	103	25	667f F
CK ₂		151	87	594	86	409	47	133	18	1320aA	238aAB
NPK		145	76	373	78	372	50	158	25	1080eE	230abABC
NPKM ₁		120	67	274	63	594	46	204	23	1230bB	199cD
NPKM ₂		138	62	335	76	459	50	145	25	1100dD	213cCD
VSF		121	68	245	71	464	82	190	24	1130cC	245aA

从表 8 中可知,白菜各处理中以 VSF 处理磷的总流失量最大,以 NPKM₂ 处理磷的总流失量最小,前者是后者的 5.38 倍。甘蓝各处理磷的总流失量均达到极显著性差异。以 CK₂ 处理磷的总流失量最大,以 CK₁ 处理磷的总流失量最小。白菜和甘蓝各处理磷的总流失量很小,均较氮的总流失量要小得多。这可能与磷肥的难溶等特性,以及土壤的吸附等因素有密切的关系,也与当地生产习惯有关(据调查,在同一块地上一般每年只施一次磷肥)。

从表 8 可见,白菜 CK₂ 处理钾的总流失量与其他施肥处理比较均达到极显著性差异。以 CK₂ 处理流失量最高,以 CK₁ 处理流失量最低。后四个施肥处理钾的总流失量较 CK₂ 处理低。甘蓝各处理钾的总流失量相差不大,以 VSF 处理钾的总流失量最大,以 NPKM₁ 处理钾的总流失量最小。配施有机肥处理中钾的流失也较严重,这与有机肥的特性有重要关系。

白菜和甘蓝 2 种蔬菜的养分径流量和径流规律不尽相同,这可能与这两种蔬菜的需肥规律不同和生长周期的长短有关。

2.4 两季蔬菜地径流规律比较

由表 3、表 6、表 5 和表 8 中数据可得,春、夏季蔬菜茄子各处理径流水样中氮、磷、钾养分的浓度高于秋、冬季蔬菜白菜、甘蓝对应处理径流水样中氮、磷、钾养分的浓度,茄子地氮、磷、钾养分的流失量高于白菜、甘蓝地对应处理径流水样中氮、磷、钾养分的流失。白菜各处理径流水样中磷、钾养分的流失量高于甘蓝对应处理径流水样中磷、钾养分的流失量。

3 讨论与结论

定位大田试验表明,菜园土壤养分流失以氮为主,钾次之,磷最少。同一种蔬菜地径流水中养分含量与施肥量的高低密切相关^[21-22],施肥量越大径流水中养分浓度就越大。就不同种蔬菜而言,施肥量越大径流水中养分浓度也越大。为降低施肥对环境的负荷,应科学合理地施用各种肥料。

田间小区试验表明,在蔬菜生长发育的前期,以 CK₂ 处理和 NPK 处理养分淋失量较大,而在蔬菜生长发育的后期,反而以各有机无机肥配施处理养分淋失量大,尤以磷素最明显,氮、钾次之。各种养分的淋失量与蔬菜生长的季节也有关,春、夏季蔬菜地的养分淋失量要高于秋、冬季蔬菜地的养分淋

失量。当地 CK₂ 和 NPK 处理施肥结构不合理,易引起资源的浪费和环境污染^[23],各有机无机肥处理在蔬菜生长后期也有较严重养分的淋失,在生产中要优化施肥结构,加强有机肥料的合理施用和管理。

本研究结果还表明,不施肥处理,在降雨集中的季节,也存在着氮、磷、钾养分的径流淋失,且数量还较大,不容忽视。因此,在蔬菜生产实践中应加强土壤养分资源的管理和高效利用。尽量避免在大的降水发生期间内施肥,可以有效地减少养分的径流损失^[24],降低农业生产成本,减轻由此引起的环境负担。

由本试验结果看,在当地农田养分条件及相应田间管理条件下,建议将氮、磷、钾养分的施用量控制在 225、112.5、225 kg hm⁻² 左右较为适宜,既保证了蔬菜对各种养分的需求,又减少了由于肥料的过量施用所带来的经济损失及对环境的威胁。

参 考 文 献

- [1] 王辉,董元华,安琼. 高度集约化利用下蔬菜地土壤养分累积状况——以南京市南郊为例. 土壤,2006,38(1): 61—65. Wang H, Dong Y H, An Q. Nutrient accumulation in intensively vegetable soils in the southern suburb of Nanjing (In Chinese). Soils, 2006, 38(1): 61—65
- [2] 王辉,董元华,安琼. 高度集约化利用下蔬菜地土壤酸化及次生盐渍化研究——以南京市南郊为例. 土壤,2005,37(5): 530—533. Wang H, Dong Y H, An Q. Change in pH and salinity of vegetable soil under intensive cultivation——A case study of southern suburbs of Nanjing (In Chinese). Soils, 2005, 37(5): 530—533
- [3] Greenwood D J, Hunt J. Effect of nitrogen fertilizer on the nitrate contents of field vegetables grown in Britain. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1986, 37(4): 373—383
- [4] 陈子才,倪治华,周晓锋. 不同施肥方式对蔬菜硝酸盐含量的影响. 上海蔬菜,2006(6): 70—71. Chen Z H, Ni Z H, Zhou X F. Effect of different fertilizing methods on nitrate content in vegetable (In Chinese). Shanghai Vegetables, 2006(6): 70—71
- [5] 周艺敏,任顺荣,王正祥. 氮素化肥对蔬菜硝酸盐积累的影响. 华北农学报,1989,4(1): 110—115. Zhou Y M, Ren S R, Wang Z X. The effect of application of n fertilizer on the accumulation of nitrate in vegetables (In Chinese). Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 1989, 4(1): 110—115
- [6] 许前欣,孟兆芳,于彩虹. 减少蔬菜体内硝酸盐污染的施肥技术研究. 农业环境保护,2000,19(2): 109—110, 113. Xu Q X, Meng Z F, Yu C H. Approaches for reduction of nitrate contamination on vegetable by appropriately applying fertilizers (In Chinese). Agro-environmental Protection, 2000, 19(2): 109—110, 113
- [7] 于彩虹,许前欣,孟兆芳. 生物菌肥对蔬菜品质的影响. 天

- 津农业科学,2000,6(2):20—22. Yu C H, Xu Q X, Meng Z F. The effect of bio-bacterial manure on vegetable quality (In Chinese). Tianjin Agricultural Sciences,2000,6(2):20—22
- [8] 常丽新. 钾肥在小白菜和萝卜上的施用效果. 中国蔬菜,2002(1):16—17. Chang L X. Effect of potash on growth and yield and quality of *Brassica chinensis* and *Raphanus sativus* (In Chinese). China Vegetables,2002(1):16—17
- [9] 常丽新, 常建霞. 施用钾肥对水萝卜产量和品质的影响. 河北农业大学学报,2000,23(2):42—43. Chang L X, Chang J X. Effect of potash on yield and quality of *Raphanus sativus* (In Chinese). Journal of Agricultural University of Hebei, 2000, 23(2):42—43
- [10] 陆文龙,赵宏孺,王德芳,等. 矿质营养对白菜硝酸盐含量的影响. 农业环境保护,1999,18(3):118—120. Lu W L, Zhao H R, Wang D F, et al. Effect of mineral nutrition on nitrate content in vegetable (In Chinese). Agro-environmental Protection, 1999,18(3):118—120
- [11] Sims J T, Goggin N, McDermott J. Nutrient management for water quality protection: integrating research into environmental policy. Water Science and Technology,1999,39(12):291—298
- [12] Cooke L G. Nutrient transformations in a natural wetland receiving sewage effluent and the implications for waste treatment. Water Science and Technology,1994,29(5):209—227
- [13] 王新军,廖文华,刘建玲. 菜地土壤磷素淋失及其影响因素. 华北农学报,2006,21(4):67—70. Wang X J, Liao W H, Liu J L. Phosphorus leaching from vegetable fields and impact factors (In Chinese). Acta Agriculturae Boreali-Sinica,2006,21(4):67—70
- [14] 姜波,林咸永,章永松. 杭州市郊典型菜园土壤磷素状况及磷素淋失风险研究. 浙江大学学报:农业与生命科学版,2008,34(2):207—213. Jiang B, Lin X Y, Zhang Y S. Phosphorus status and index for predicting environmental risk of phosphorus leaching in typical vegetable soils of Hangzhou (In Chinese). Journal of Zhejiang University: Agric & Life Sci, 2008,34(2):207—213
- [15] Cao L K, Chen G J, Lu Y T. Nitrogen leaching in vegetable fields in the suburbs of Shanghai. Pedosphere, 2005, 15 (5): 641—645
- [16] Shan B Q, Yin C Q, Yu J, et al. Study on phosphorus transport in the surface layer of soil with rainfall simulation method. Acta Scientia Circumstance,2000,20(1):33—37
- [17] McDowell R W, Sharpley A N. Approximating phosphorus release from soils to surface runoff and subsurface drainage. Journal of Environmental Quality,2001,30(2):508—520
- [18] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京:中国农业科技出版社,2000. Lu R K. Analytical methods for soil and agricultural chemistry (In Chinese). Beijing: Agriculture Science Press of China,2000
- [19] 傅涛,倪九派,魏朝富,等. 雨强对三峡库区黄色石灰土养分流失的影响. 水土保持学报,2002,16(2):33—35. Fu T, Ni J P, Wei C F, et al. Research on nutrient loss from terra gialla soil in three gorges region under different rainfall intensity (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation,2002,16(2):33—35
- [20] Ramos M C, Martínez-Casasnovas J A. Nutrient losses by runoff in vineyards of the Mediterranean Alt Penedès region (NE Spain). Agriculture, Ecosystem & Environment, 2006, 113 : 356—363
- [21] Grigg B C, Kornecki T S, Fouss J L, et al. Integrated soil and water management systems to reduce soil erosion and nutrient loss from alluvial soils of the lower Mississippi river valley//Saleh A. Total maximum daily load (TMDL) environmental regulations II. Michigan: ASAE Publication,2003:472—472
- [22] Ramos M C, Martínez-Casasnovas J A. Erosion rates and nutrient losses affected by composted cattle manure application in vineyard soils of NE Spain. Catena,2006,68:177—185
- [23] 单艳红,杨林章,王建国. 土壤磷素流失的途径、环境影响及对策. 土壤,2004,36(6):602—608. Shan Y H, Yang L Z, Wang J G. Soil phosphorus loss to water: its pathways, environmental impact, and countermeasures (In Chinese). Soils,2004,36(6):602—608
- [24] 田玉华,尹斌,贺发云,等. 太湖地区稻季的氮素径流损失研究. 土壤学报,2007,44(6):1 070—1 075. Tian Y H, Yin B, He F Y, et al. Nitrogen loss with runoff in rice season in the Taihu lake region, China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2007,44(6):1 070—1 075

NUTRIENT LOSS WITH RUNOFF FROM VEGETABLE SOIL DERIVED FROM RIVER ALLUVIAL IN DONGTING LAKE PLAIN AND ITS AFFECTING FACTORS

Tang Hong¹ Zhang Yangzhu^{1†} Long Huaiyu² Huang Yunxiang¹ Liao Chaolin¹
Zeng Zhangquan³ Hou Jinquan¹ He Lizhao¹

(1 *College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China*)

(2 *Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, CAAS, Beijing 100081, China*)

(3 *Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China*)

Abstract Through long-term stationary field and plot experiments, effects of vegetable type and fertilization structure on nutrient loss with runoff were studied. Results show that nitrogen was the main nutrient element lost from vegetable field with runoff, and followed by potassium and phosphorus. NPK leaching was significantly higher in hot pepper field than in pumpkin field, because the former received a higher rate of fertilizer. P and K leaching was obviously higher in Chinese cabbage field than in cabbage field. NPK leaching from vegetable fields was higher in spring and summer than in fall and winter. At the early growth stage of eggplant, N and P leaching was more serious in CK₂ (local custom fertilization treatment) than in any other treatments. K leaching was higher in Treatment NPK (chemical fertilization) than in any other treatments. In the water samples from the first and second runoffs from Chinese cabbage and cabbage fields, N, P, K contents were higher in CK₂ and Treatment NPK than in any other treatments. At the later growth stage of vegetables, NPK leaching was higher in Treatment OM (organic manure) than in any other treatments and remained high. In Treatment CK₁ (No fertilization), nutrient loss still existed and was quite high, too. It is, therefore, recommended that the management of soil nutrient resources should be intensified to make efficient use of them in the production.

Key words Alluvial soils; Fertilization structure; Nutrients runoff; Dongting Lake