不同施肥模式对蔬菜产量及菜地氮流失的影响

张颖飞[1]，蒋治国[2]，堵燕钰[2]，赵言文[1]

（1.南京农业大学 资源与环境学院，江苏 南京 210095；2.常州市农畜水产品质量监督检验测试中心，江苏 常州 213000）

摘　要：在天然降雨条件下，通过 3 茬蔬菜（苋菜、青菜、茄子）的田间小区试验，研究了不施肥、单施化肥、优化施肥（化肥有机肥配施）、单施有机肥、增施氮肥、增施磷肥 6 种施肥模式对蔬菜的产量、植株氮素累积量、氮肥利用率及氮随地表径流流失的影响。结果表明，与不施肥相比，其它 5 种施肥模式可分别提高产量 93.55%，103.74%，96.68%，130.78%，136.04%；不同施肥模式下，通过地表径流流失的总氮量为 68.11～92.10 kg/hm^2，与单施化肥相比，单施有机肥和优化施肥可分别使地表径流总氮流失量减小 4.67%和 2.02%，增施氮肥和增施磷肥可使地表径流总氮流失量在优化施肥的基础上增加 10.53%和 8.28%。因此在蔬菜的施肥上应改进肥料的配比，在施 N 量和施 P 量保持稳定的条件下，增加有机肥的施用比例，减少化肥的施用比例，将能有效降低菜地氮的排放。

关键词：施肥模式；产量；氮素累积量；氮肥利用率；氮流失

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2011)05-0054-05　　**中图分类号**：X501

Effects of Different Fertilization Schemes on Vegetable Yield and Nitrogen Loss from Vegetable Fields

ZHANG Ying-fei[1], JIANG Zhi-guo[2], DU Yan-yu[2], ZHAO Yan-wen[1]

(1. *College of Resource and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu* 210095, *China*; 2. *Changzhou Livestock and Aquatic Product Quality Supervision and Testing Centre, Changzhou, Jiangsu* 213000, *China*)

Abstract: Field plot trials with amaranth, brassica chinensis, and eggplant involving 6 different fertilization schemes including non-fertilizer, chemical fertilizer, optimal fertilizer (combined chemical fertilizer and organic manure), organic manure, increased N fertilizer, increased P fertilizer, were conducted under natural rain-fed condition to investigate the effects of the fertilization schemes on yield, as well as N accumulation, nitrogen fertilizer utilization rate, and loss of N by surface runoff. The results show that compared with non-fertilizer, the other 5 fertilization models can increased yield of 93.55%, 103.74%, 96.68%, 130.78% and 136.04%, respectively. With different fertilization, the loss of total N by surface runoff varied between 68.11～92.10 kg/hm^2. Compared with the chemical fertilization, organic fertilization and optimum fertilization could decreased total N loss by 4.67% and 2.02% respectively. Compared with the optimal fertilizer, increasing N and P fertilizer could increase the amount of total N loss respectively by 10.53% and 8.28%. Therefore, the fertilizer ratio should be improved to effectively reduce nitrogen loss on vegetable lands. With steady inputs of N and P, organic fertilizer should be increased while chemical fertilizer should be reduced.

Keywords: fertilization mode; yield; nitrogen accumulation; nitrogen fertilizer utilization rate; nitrogen loss

农村生态环境管理迫切需要解决的是农村发展、资源利用与生态环境保护之间的矛盾，因此，探寻不同类型污染产生的微观机制具有重要的理论和现实意义。近年来，农业面源污染已成为农村生态环境污染的一个重要方面。在农业集约化程度较高的我国东部和中部的重要流域，由于过度使用化肥、农药等农业化学品而引起的农业面源污染危害已经远远超过工业点源污染，成为水体富营养化的主要来源[1]。太湖是我国第 3 大淡水湖泊，全湖面积 2 338 km^2，流域面积 36 500 km^2。太湖水污染主要污染指标是总

收稿日期：2010-12-04　　修回日期：2011-01-26

资助项目：国家自然科学基金重点项目“农村发展中生态环境管理研究”(70833001)

作者简介：张颖飞(1985—)，女(汉族)，河北省邯郸市人，硕士研究生，主要从事生态农业及环境生态学方面的研究。E-mail：Candice_yr@163.com。

通信作者：赵言文(1963—)，男(汉族)，江苏省徐州市人，研究员，主要从事生物多样性、生态农业及生态环境影响评价研究。E-mail：ywzhao@njau.edu.cn。

氮和总磷[2],研究结果显示,农田面源污染对太湖氮磷的贡献率分别达到了 29%和 19%[1],而肥料的大量投入是引起农田面源污染的重要原因。在蔬菜生产上,太湖流域全年 2～3 季蔬菜 N 投入 560～1 530 kg/hm^2,P_2O_5 投入平均 430～1 186 kg/hm^2[3]。氮肥施用过量,无论是无机氮肥或有机肥都会在土壤中积累。同样,有机肥和无机磷肥过量使用也都会使土壤磷不断累积,旱地中又以蔬菜基地中土壤磷素累积最多,对水体磷污染威胁最大[4]。

以农业面源污染风险极高的蔬菜地为研究对象,通过小区试验,研究不同的氮、磷肥施用量、搭配及有机肥施用对蔬菜产量、氮累积量、氮肥利用率及对菜地氮排放的影响,探索能使作物丰产、优质且环境友好的施肥模式,为从源头上控制菜地农业面源污染提供重要依据。

1　材料与方法

1.1　试验区概况

选择临近太湖的江苏省武进区雪堰镇太湖村为试验区,中心区域地理坐标为 31°30′5″N,120°6′47.6″E,距离太湖 1.5 km,地貌类型为平原。

该地区属亚热带季风气候,四季分明,热量充足,全年平均气温为 16.8 ℃,常年平均降雨量为 1 091.6 mm,日照时数为 1 940.2 h。土壤为白泥水稻土,中等肥力水平,土壤质地类型为黏土,其基本性质如表 1 所示。

表 1　土壤基本性质

土层/cm	pH 值	有机质/(g·kg^{-1})	硝态氮/(mg·kg^{-1})	铵态氮/(mg·kg^{-1})	全 氮/(g·kg^{-1})	全 磷/(g·kg^{-1})	有效磷/(mg·kg^{-1})	有效钾/(mg·kg^{-1})
0—20	6.16	22.40	36.23	383.59	8.80	0.10	275.10	486.38
20—40	6.64	15.40	16.67	379.56	2.70	0.01	40.25	99.63

1.2　试验设计

试验为小区试验。每小区种植 3 茬蔬菜:第 1 茬苋菜(*Amaranthus tricolor* L.,常州彩叶苋),2008 年 3 月 10 日播种,4 月 10 日追肥,10 月 9 日采收、考种并测产;第 2 茬青菜(*Brassica chinensis* L.,上海青),2008 年 10 月 10 日施基肥,10 月 13 日播种,2009 年 3 月 20 日采收,考种并测产;第 3 茬茄子(*Solanum melogena* L.),2009 年 5 月 10 日施基肥,5 月 13 日播种,9 月 20 日采收,考种并测产。

设置 6 种施肥处理试验区:(1) 空白 CK;(2) 单施化肥 CF;(3) 优化施肥 COF,即化肥有机肥配施:化肥 N 肥和有机肥 N 肥各半;(4) 单施有机肥 OF;(5) 增施氮肥 INF(B+19%～24%N);(6) 增施磷肥 IPF(B+11%～17%P_2O_5)。每个处理设 3 个重复。小区规格 4 m×7.5 m,采用随机区组排列,各径流小区之间,径流小区与周边地块之间用田埂隔开,田埂为单砖(12 cm)水泥结构的墙体,墙体高 50 cm,其中地下部分 30 cm,地上部分 20 cm,防止小区之间、小区与周边地块之间发生串水现象。每小区留一排水口以测定地表径流。肥料一次性施入,各处理施肥情况如下。

(1) CF:苋菜施复合肥和碳铵各 720 kg/hm^2;青菜施氨水和碳铵各 500 kg/hm^2;茄子施复合肥和碳铵各 500 kg/hm^2。

(2) COF:苋菜施鸡粪 10 125 kg/hm^2,碳铵 720 kg/hm^2;青菜施鸡粪 10 417 kg/hm^2,碳铵 500 kg/hm^2;茄子施鸡粪 10 417 kg/hm^2,碳铵 500 kg/hm^2。

(3) OF:苋菜、青菜、茄子分别施鸡粪 20 250,20 834,20 834 kg/hm^2。

(4) INF:苋菜施鸡粪 10 125 kg/hm^2,碳铵 1 080 kg/hm^2;青菜施鸡粪 10 417 kg/hm^2,碳铵 750 kg/hm^2;茄子施鸡粪 10 417 kg/hm^2,碳铵 750 kg/hm^2。

(5) IPF:苋菜施鸡粪 10 125 kg/hm^2,碳铵 720 kg/hm^2,钙镁磷肥 360 kg/hm^2;青菜施鸡粪 10 417 kg/hm^2,碳铵 500 kg/hm^2,普钙 250 kg/hm^2;茄子施鸡粪 10 417 kg/hm^2,碳铵 500 kg/hm^2,普钙 250 kg/hm^2。

1.3　样品采集方法

(1) 基础土壤样品采集。试验开始前,分 0—20 cm 和 20—40 cm 采集、制备基础土壤样品,测定养分基本状况。

(2) 径流量记录与采样。地表径流的测定采用径流池集水法,即在每个小区的排水口安装一根长 1.5 m,内径 5.0 cm 的 PVP 管,出口接一个容积约 1.6 m^3 的径流池,池上加盖。每次降水并产生径流后,记录各径流池水面高度,计算径流量,同时采集径流水样(经充分搅匀)500 ml。用定量滤纸(经过烘干、称重)过滤,滤纸及泥沙经干燥、称重后用信封保存,同一个小区不同时期的滤纸及泥沙置于同一信封内统一保存,测定全氮、全磷,滤液由于水样分析。取

完水样后，抽排径流水，并将径流池清洗干净，以备下一次收集和计量。

(3) 降雨。记录每次降水量(用量雨器测量)，取500 ml水样供分析测试用。

(4) 作物样。按经济产量部分和废弃物部分分别采集、制备作物样品。

1.4 样品测试分析方法

水样硝态氮、铵态氮、总氮采用流动分析仪进行测定，全磷采用过硫酸钾氧化—钼蓝比色法，磷酸根采用氯化亚锡比色法。土壤农化常规分析方法见参考文献[5]。

1.5 统计方法

本文采用EXCEL及SPSS软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 不同施肥模式对蔬菜产量的影响

与空白处理(CK)相比，其它施肥模式均能极显著提高蔬菜生物产量。苋菜、青菜和茄子的生物产量分别增加了11 713.00～23 430.00，12 000.00～199 44.44，12 477.78～25 333.33 kg/hm^2，提高幅度分别为50.12%～100.25%，100.93%～167.76%，97.82%～198.61%(图1)。对于第一茬苋菜，与CF相比，COF和OF分别使蔬菜的生物产量降低了13.34%和19.86%；INF和IPF在COF的基础上使蔬菜生物产量提高了7.68%和23.36%，但INF仍低于CF；方差分析显示各项处理之间均为极显著差异。对于第2茬青菜，与CF相比，COF和OF分别使蔬菜的生物产量提高了24.42%和2.56%；INF和IPF在COF的基础上使蔬菜生物产量提高了7.10%和0.37%，方差分析表明CF—IPF处理之间差异不显著。对于第3茬茄子，与CF相比，COF和OF使蔬菜的生物产量提高了19.42%和38.00%，其中，OF与CF形成极显著性差异；INF和IPF在COF的基础上提高了蔬菜的生物产量，提高幅度分别为26.40%和21.68%，并与COF形成显著性差异。化肥有机肥配施和单施有机肥对第1茬蔬菜的生物产量不如单施化肥，但第2,3茬均有较好表现，其生物产量增产效果较单施化肥均有增大的趋势。这是由于有机肥肥效释放缓慢且后效性较长，随着时间的推移，其肥效逐渐表现出来。增施氮、磷肥在优化施肥的基础上均可一定程度上提高蔬菜的生物产量。

2.2 不同施肥模式对蔬菜植株氮素累积量及氮肥利用率的影响

与空白处理(CK)相比，其它施肥模式均能一定程度上提高植株N累积量(表2)。苋菜、青菜、茄子的N累积量分别增加了24.34～83.29，59.509～91.56，30.87～87.36 kg/hm^2。对于第1茬苋菜N累积量，COF和OF分别低于CF 16.76%和41.94%，其中OF与CF形成极显著性差异；INF和IPF在COF的基础上并未提高蔬菜N积累量。对于第2茬青菜植株N累积量，COF较CF提高了36.29%，OF较CF略有所降低，降低幅度为0.20%，INF和IPF均低于COF，方差分析表明CF—IPF之间差异不显著。对于第3茬茄子N累积量，OF极显著高于CF，提高幅度为40.52%，COF较CF提高28.34%，但与CF，OF并没有形成显著性差异，INF和IPF在COF的基础上提高了29.71%和15.23%，但并未与之形成显著性差异。不同施肥模式下，苋菜、青菜、茄子的氮肥利用率分别为8.97%～36.04%，21.31%～42.97%，19.24%～32.62%。第1茬蔬菜，单施化肥氮肥利用率最高，而第2,3茬蔬菜，化肥有机肥配施氮肥利用率高于单施化肥和单施有机肥；增施氮肥和增施磷肥在前两茬蔬菜种植期间氮肥利用率均不及优化施肥，到第3茬才有所提高。可见，化肥分解较快，可迅速被蔬菜吸收，有机肥分解缓慢，肥效较长，而化肥和有机肥的合理配施可使作物保持较高的氮素累积量和氮肥利用率；增施氮肥和增施磷肥不能显著提高植株氮素累积量，蔬菜种植后期氮肥利用率有所提高。

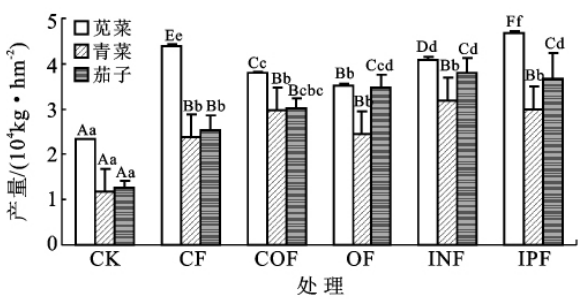


图1 不同施肥模式对蔬菜产量的影响

注：数值后面大写字母表示1%显著性水平；小写字母表示5%显著性水平。LSD检验法。下同。

2.3 不同施肥模式对菜地氮流失的影响

2.3.1 观测期内降雨情况 观测期间下雨天数累计87 d，共降水1 245.40 mm，主要集中在每年的6—8月份，其中降雨量大于10 mm的降雨时间分布见表3。连续降雨超过40 mm的降雨有10次。

2.3.2 不同施肥模式对种植期间菜地地表径流氮流失量的影响 对菜地连续3茬蔬菜进行为期约1.5 a的监测，共采样17次。其中苋菜种植期间采样6次，青菜种植期间采样4次，茄子种植期间采样7次。蔬菜种植期间各形态氮流失量见表4—5。

表 2　不同施肥模式对蔬菜植株氮素累积和氮肥利用率的影响

处理	苋菜		青菜		茄子	
	N 累积量/(kg·hm^{-2})	N 利用率/%	N 累积量/(kg·hm^{-2})	N 利用率/%	N 累积量/(kg·hm^{-2})	N 利用率/%
CK	57.27±11.11Aa	—	42.33±2.17Aa	—	54.09±9.12Aa	—
CF	140.56±13.88Cc	36.04	102.04±8.57Bb	34.91	84.96±17.72ABab	19.24
COF	117.01±6.49BCc	23.08	139.07±2.29Bb	42.97	109.04±17.35BCbc	24.42
OF	81.61±17.13ABab	8.97	101.84±20.02Bb	21.31	119.39±10.29BCc	23.39
INF	110.65±14.38BCbc	16.66	133.89±20.30Bb	34.18	141.44±29.07Cc	32.62
IPF	115.35±33.55BCc	22.44	137.19±15.12Bb	42.23	125.75±24.36BCc	31.84

注:蔬菜 N 肥利用率(%)=100%×[施肥处理蔬菜植株 N 累积量−不施肥处理蔬菜植株 N 累积量]/施肥处理 N 肥施用量。

表 3　蔬菜种植期间降雨分布情况(降雨量>10 mm)

苋菜		青菜				茄子			
日期	降雨量/mm	日期	降雨量/mm	日期	降雨量/mm	日期	降雨量/mm	日期	降雨量/mm
20080417	30	20081129	20.3	20090312	14.7	20090620	80.3	20090727	63.5
20080617	110	20081228	12.1	20090404	12.2	20090629	49.3	20090728	10.5
20080622	100	20090201	10.5	20090604	26.0	20090706	15.7	20090730	56.3
20080627	40	20090222	14.5	20090605	15.8	20090715	61.5	20090731	48.9
20080702	19	20090224	17.7	20090607	20.4	20090721	20.0		
20080721	12	20090225	14.3			20090722	117.7		
20080901	20	20090227	16.7			20090723	62.0		

表 4　各茬蔬菜各形态氮地表径流流失量

蔬菜	处理	CK	CF	COF	OF	INF	IPF
苋菜	总氮	22.35±1.13Aa	29.33±0.93BCbc	29.83±0.56BCDc	27.79±1.59Bb	31.64±1.00CDd	32.24±0.10Dd
	硝态氮	11.37±0.58Aa	16.54±0.62Bb	16.81±0.49Bb	16.33±0.36Bb	18.14±0.11Cc	18.54±0.10Cc
	铵态氮	0.19±0.10Aa	0.69±0.64Aa	0.60±0.33Aa	0.60±0.04Aa	0.87±0.72Aa	0.85±0.32Aa
青菜	总氮	10.45±0.37Aa	11.59±0.27BCDbc	11.38±0.11BCb	11.29±0.13Bb	12.05±0.13Dd	11.84±0.10CDcd
	硝态氮	4.45±0.23Aa	4.78±0.02Bb	4.71±0.14ABb	4.76±0.07Bb	4.82±0.01Bb	4.81±0.03Bb
	铵态氮	0.18±0.14Aa	0.17±0.04Aa	0.18±0.04Aa	0.17±0.02Aa	0.17±0.04Aa	0.17±0.09Aa
茄子	总氮	35.31±1.03Aa	44.13±3.14BCb	42.11±2.37Bb	42.00±2.14Bb	48.40±1.27Cc	46.15±3.30BCbc
	硝态氮	20.76±0.60Aa	21.88±1.71Aab	22.69±1.07Aab	21.65±1.58Aab	23.96±1.01Ab	23.00±2.31Aab
	铵态氮	0.33±0.07Aa	0.31±0.05Aa	0.57±0.07Aa	0.36±0.14Aa	0.35±0.10Aa	0.29±0.11Aa

表 5　蔬菜种植期间各形态氮地表径流流失总量

处理	总氮	比 CK 增减/%	比 CF 增减/%	硝态氮	铵态氮
CK	68.11±2.42Aa	—	—	36.58±0.71Aa	0.70±0.27Aa
CF	85.05±3.74BCbc	24.86	—	43.19±2.12BCb	1.16±0.70Aa
COF	83.33±1.71BCbc	22.33	−2.02	44.20±1.09BCbc	1.35±0.42Aa
OF	81.07±3.78Bb	19.02	−4.67	42.74±1.77Bb	1.14±0.16Aa
INF	92.10±1.98Dd	35.21	8.29	46.92±0.90Cc	1.39±0.79Aa
IPF	90.23±3.36CDcd	32.46	6.09	46.35±2.39BCc	1.31±0.50Aa

对菜地连续 3 茬种植期间地表径流的监测结果表明,通过地表径流流失的总氮量为 68.11～92.10 kg/hm^2。流失的硝态氮量为 36.58～46.92 kg/hm^2,占总氮的 50.79%～53.70%,为氮流失的主要形态;流失的铵态氮量为 0.70～1.39 kg/hm^2,占总氮的 1.03%～1.62%。不同处理模式总氮随地表径流流失量表现为:CK<OF <COF <CF<IPF <INF。各施肥处理与 CF 相比,COF 和 OF 虽与 CF 之间无显著差异,但由各茬蔬菜地表径流监测结果来看,COF 和 OF 较 CF 有减小的趋势,与 CF 相比,COF 和 C 可分别减少总氮流失量 1.72 和 3.97 kg/hm^2,减少幅度分别为 2.02%和 4.67%。可见,有机肥的施用较化肥有抑制地表径流氮流失的效果。增施氮肥 INF 在 COF 的基础上极显著增加了总氮的流失,增加幅度为 10.53%;增施磷肥 IPF 同样增加了总氮的流失,增加幅度为 8.28%,但没有达到显著性水平。

3 讨 论

不同肥料及施用方式对蔬菜生长的效果及作用机理不同。有机肥相对于化肥的优势在于:(1) 含有蔬菜需要的大量营养元素,包括无机元素和多种微量元素,以及氨基酸、酰胺、核酸等有机养分和活性物质,且有机肥对蔬菜的养分供给平缓持久,后效性长;(2) 有机肥料在分解过程中形成的胡敏酸、纤维素等活性物质可以改善蔬菜作物营养,加强新陈代谢,刺激作物生长,提高蔬菜作物对养分的利用率;(3) 有机肥可促进土壤微生物活动,提高土壤的酶活性,增加土壤中的有机胶体,改善土壤理化性质,提高土壤保水、保肥和透气性能。但有机肥养分含量较低,不易分解,不能及时满足作物高产的要求。本研究中,第 1 茬蔬菜单施化肥的产量显著优于化肥有机肥配施和单施有机肥,但第 2,3 茬化肥有机肥配施和单施有机肥表现则优于单施化肥。可见,对于长期种植蔬菜的土地通过协调化肥有机肥的配比,可使蔬菜保持稳定的高产。在优化施肥的基础上增施氮、磷肥对于蔬菜的生物产量均有一定的促进作用。

不同施肥模式通过影响蔬菜根系对氮的吸收,进而影响蔬菜植株氮的累积量及对氮肥的利用效率。化肥由于可快速提高土壤矿质含氮量以供蔬菜吸收,单茬蔬菜种植肥料利用率高;而有机肥由于分解缓慢,不能满足作物前期生长的需要,但对后期氮素供应以及土壤物理性质的改善有很大效果,从而促进蔬菜的生长。因此,有机无机肥配施可协调平衡养分供应,使作物保持较高的氮素累积量和氮肥利用率。氮肥利用率符合报酬递减率的规律,随着氮肥用量的增加,开始氮肥利用率呈增加的趋势,而到一定程度后,再施用氮肥,氮肥的利用率下降,损失率上升[6]。本研究结果显示在优化施肥的基础上增施氮、磷肥并不能显著增加蔬菜植株氮的累积量和氮肥利用率。

土壤氮素随地表径流向水体迁移是农田氮素养分损失的主要途径之一,耕作方式、不同作物对养分的利用、土壤性质及灌溉方式等都与养分流失密切相关[7-10]。对于田间施肥对农田径流氮污染负荷的控制,茅国芳等[11]对上海稻麦轮作的研究表明适当降低氮肥用量,可减少农田氮素流失,且对产量影响不大;段亮等[12]研究表明地表覆盖及氮肥深施均能有效降低氮流失量。而对于不同肥料配比对氮流失的影响及过量施肥对氮流失负荷的定量研究则较少[13]。本研究通过对太湖地区一年半三茬蔬菜的种植表明,施用有机肥较化肥可抑制地表径流氮的流失。与单施化肥相比,单施有机肥可使地表径流总氮流失量减小 4.67%,化肥有机肥配施可使地表径流总氮流失量减小 2.02%。这与黄东风等[13]对福建省灰黄泥菜园土试验得出"对减少菜地地表径流硝态氮和铵态氮流失总量的效果中,施用有机肥模式明显优于化肥模式"一致。而与优化施肥相比,增施氮肥和增施磷肥可使地表径流总氮流失量增加 10.53%和 8.28%。

综上所述,从蔬菜经济效益、氮肥有效利用及施肥与环境安全角度考虑,在蔬菜的施肥上应改进肥料的配比,在施 N 量和施 P 量保持稳定的条件下,考虑蔬菜种植的茬数,增加有机肥的施用比例,减少化肥的施用比例,将能有效降低菜地氮的排放。

[参 考 文 献]

[1] 张维理,武淑霞,冀宏杰,等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 I:21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J]. 中国农业科学,2004,37(7):1008-1017.

[2] 徐洪斌,吕锡武,李先宁,等. 太湖流域农村生活污水污染现状调查研究[J]. 农业环境科学学报,2007,26(S):375-378.

[3] 王海,席运官,陈瑞冰,等. 太湖地区肥料、农药过量施用调查[J]. 农业环境与发展,2009(3):10-15.

[4] 曹志洪. 施肥与水体环境质量:论施肥对环境的影响(2)[J]. 土壤,2003,35(5):353-363.

[5] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2001:122-368.

[6] 杜连凤. 长江三角洲地区菜地系统氮肥利用与土壤质量变异研究[D]. 北京:中国农业科学院,2005.

[7] Abgle J S, Hill R L. Soil nitrate concentrations under corn as affected by tillage, manure and fertilizer application[J]. J. Environ. Qual., 1993,22:141-147.

[8] 焦少军,胡夏民,潘根兴,等. 施肥对太湖地区青紫泥水稻土稻季农田氮磷流失的影响[J]. 生态学杂志,2007,26(4):495-500.

[9] 黄沈发,陆贻通,沈根祥,等. 上海郊区旱作农田氮素流失研究[J]. 农村生态环境,2005,21(2):50-53.

[10] Thomsen I K, Christensen B T. Cropping system and residue management effects on nitrate leaching and crop yield[J]. Agric. Ecosyst. Environ., 1998,27:1183.

[11] 茅国芳,陆敏,黄明蔚,等. 稻麦轮作农田氮素流失及控制对策研究[J]. 上海农业学报,2006,22(4):86-92.

[12] 段亮,段增强,常江. 地表管理与施肥方式对太湖流域旱地氮素流失的影响[J]. 农业环境科学学报,2007,26(3):813-818.

[13] 黄东风,王果,李卫华,等. 不同施肥模式对蔬菜生长、氮肥利用及菜地氮流失的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(3):631-638.