

福州市郊菜地氮磷面源污染现状分析与评价

黄东风^{1,2}, 邱孝煊¹, 李卫华¹, 林新坚¹, 王 果²

(1.福建省农业科学院土壤肥料研究所, 福建 福州 350013; 2.福建农林大学资源与环境学院, 福建 福州 350002)

摘要:通过对福州市郊 14 片蔬菜基地的 120 个蔬菜样品、16 个田面水样和 11 个地下水样的检测,并引用相关评价标准,分析了福州市郊菜地氮磷面源污染现状。结果表明:(1)处于严重污染($\text{NO}_3^- \geq 3\ 100\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)的蔬菜样品占检测总数的 13.33%,处于重度污染($\text{NO}_3^- \geq 1\ 440\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)以上的蔬菜样品占检测总数的 32.5%,处于中度污染($\text{NO}_3^- \geq 785\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)以上的蔬菜样品占检测总数的 50.83%。(2)氨氮含量超过地表水Ⅲ类($1\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)和Ⅴ类($2\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)水质标准的菜地田面水样数量分别占调查总量的 62.5%和 56.25%;硝态氮含量超过国家集中式生活饮用水地表水标准($10\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)的菜地田面水样数量占调查总量的 12.5%;总氮平均含量和最高含量分别为 10.99 和 $33.80\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,分别是地表水Ⅴ类水质氮标准($2\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)的 5.5 和 16.9 倍;总磷平均含量和最高含量分别为 4.75 和 $12.75\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,分别是地表水Ⅴ类水质磷标准($0.4\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)的 11.9 和 31.9 倍。(3)氨氮含量超过Ⅴ类水质标准($0.5\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)的地下水样数量占调查总量的 18.18%;硝态氮含量处于超标级别($\geq 10\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)以上的地下水样数量占调查总数的 54.55%,处于严重超标级别($\geq 20\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)以上的地下水样数量占调查总量的 27.27%;总氮含量全部超过Ⅴ类水质标准($2\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, GB 3838—2002),超标率为 100%;总磷含量超过Ⅴ类水质标准($0.4\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, GB 3838—2002)的占调查总量的 81.82%。

关键词:福州市郊;菜地;氮磷面源污染;现状;分析与评价

中图分类号:X820.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)06-1191-09

Testing and Evaluation of N and P Non-Point Source Pollution Status Quo of Vegetable Fields at the Suburb of Fuzhou City

HUANG Dong-feng^{1,2}, QIU Xiao-xuan¹, LI Wei-hua¹, LIN Xin-jian¹, WANG Guo²

(1.Institute of Soil and Fertilizer, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China; 2.College of Resources and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: N and P non-point source pollution status quo of vegetable fields at the suburb of Fuzhou city was evaluated by testing samples of vegetable (120 samples), surface-field water (16 samples) and groundwater (11 samples) collected from 14 pieces of vegetable fields which located at the suburb of that city according to the related criterions in this paper. Results showed that: (1) Proportions of vegetable samples which nitrate content fell into serious pollution level ($\text{NO}_3^- \geq 3\ 100\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), heavy pollution level ($\text{NO}_3^- \geq 1\ 440\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) and moderate pollution level ($\text{NO}_3^- \geq 785\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) were 13.33%, 32.5% and 50.83%, respectively. (2) Proportions of vegetable surface-field water samples which ammonia-N content was beyond the water quality criterions of Ⅲ class ($1\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) and Ⅴ class ($2\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) were 62.5% and 56.25%, respectively. The proportion of vegetable surface-field water samples which nitrate-N content was beyond the water quality criterion of Chinese surface water of collective living-drinking water ($10\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) was 12.5%. Compared with the surface water quality criterions of Ⅴ class (N $2\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, P $0.4\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), the average and maximal total N, P content of vegetable surface-field water samples were 10.99 and $33.80\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 4.75 and $12.75\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. (3) The proportion of vegetable field groundwater samples which ammonia-N content was beyond the water quality criterions of Ⅴ class ($0.5\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) was 18.18%. Proportions of groundwater samples which nitrate content was super-scale ($\geq 10\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) and serious super-scale ($\geq 20\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) were 54.55% and 27.27%, respectively. The content of total N of all groundwater samples detected was beyond the water quality criterions of Ⅴ class (N $2\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, GB 3838—2002). And the proportion of vegetable field groundwater samples which total P content was beyond the water quality criterions of Ⅴ class (P $0.4\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, GB 3838—2002) was 81.82%.

Keywords: suburb of Fuzhou City; vegetable field; N and P non-point source pollution; status quo; analysis and valuation

收稿日期: 2008-10-28

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD25B08); 福建省科技厅重点项目(2007TT0015); 福建省自然科学基金项目(2006J0249, U0650005)

作者简介: 黄东风(1975—), 男, 福建南安市人, 副研究员, 博士生, 目前主要从事土壤肥料及环境生态方面研究。E-mail: hdf-1@163.net

通讯作者: 林新坚 E-mail: xinjianlin@163.net

施肥是菜地土壤养分的重要来源,同时也是造成蔬菜硝酸盐污染、地表水和地下水污染的重要原因。合理施肥是蔬菜优质高产的关键,但在广大菜区并未引起重视,仍然是“肥大水勤”,“肥随水走,一水一肥”的传统施肥模式^[1]。特别是近年来,化学肥料的施用量越来越高。在一些地方,N肥用量已高达 $3\ 300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,P肥高达 $995\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[2],超过作物实际需求量的数倍。这不仅造成肥料资源的大量浪费,影响蔬菜的品质^[3-4],还会引起养分在土壤中累积,对土壤、水体和大气等生态环境构成潜在威胁。笔者曾对福州市郊11片蔬菜基地的蔬菜施肥现状及菜地土壤养分累积特征的调查结果显示:福州市郊蔬菜的平均施肥量(N、 P_2O_5 和 K_2O 总养分)在 $2\ 002\sim 3\ 455\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,平均为 $2\ 521\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,N:P $_2\text{O}_5$: K_2O 比例平均为1:0.77:0.75,氮磷钾比例不协调,并以磷肥施用比例明显偏高尤为突出;菜地土壤的全磷($2.043\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)、速效磷($182.9\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)、 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ ($1.018\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)平均含量比对照(林坡地自然土壤)分别提高了3.16、6.87和12.3倍。菜地氮磷肥料的大量投入及菜地土壤氮磷养分的大量累积,若遇灌水过量或降水量较大的情况,则 NO_3^- -N淋洗到地下水,或土壤表层的N、P随地表径流进入周围地表水是不可避免的,因此,菜地土壤存在着极大的氮磷面源污染风险。有关福州市蔬菜硝酸盐污染状况的调查分析已见报道,如任祖淦等^[5],黄东风等^[6],高树芳等^[7]分别在1996年、2002年和2003年对福州市部分蔬菜市场的蔬菜产品硝酸盐含量进行抽检和评价,结果均表明,福州市蔬菜硝酸盐污染较严重,而以绿叶菜类和根茎菜类尤为突出;但这些调查结果已时隔多年,如今福州市蔬菜的硝酸盐污染现状又是如何,未见最新报道。而有关福州市郊菜地田面水及地下水受氮、磷面源污染的现状调查也未见报道。为此,本研究以福州市郊新店镇(泉头村、涧田村、埔党村、健康村、新店村和西垅村)、岳峰镇竹屿村、鼓山镇坂桥村、仓山镇万里村、城门镇城门村、盖山镇(北园村、下湖村、利升村和塘池村)等14片蔬菜基地为研究对象,通过对120个蔬菜样品、16个田面水样和11个地下水样进行检测,并引用相关评价标准,分析了福州市郊菜地氮磷面源污染现状,旨在为福州市乃至全国其他类似地区菜地氮磷面源污染的治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查区基本概况

福州市郊蔬菜基地零星分布于福州市城乡结合

边缘地带,属亚热带海洋性季风气候区,温暖湿润,雨量充沛,年平均无霜期326 d,年平均气温 $19.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,年降雨量 $900\sim 2\ 100\text{ mm}$,一年种植蔬菜2~7茬。大部分蔬菜基地均为若干年前的灰黄泥水稻田改种而来,土壤经多年种植蔬菜熟化成灰黄泥菜园土。

1.2 蔬菜样品采集

选取福州市郊新店镇(泉头村、涧田村、埔党村、健康村、新店村和西垅村)、岳峰镇竹屿村、鼓山镇坂桥村、仓山镇万里村、城门镇城门村、盖山镇(北园村、下湖村、利升村和塘池村)等14片蔬菜基地附近的蔬菜市场,于2006-12—2007-12,分批陆续采集人们普遍食用的绿叶菜类、根茎类、瓜(茄)果类、豆荚类、葱蒜类、白菜类和鲜菇笋类等7类,46种,共计120个时令蔬菜样品。每次采样时,各种蔬菜在1个市场选取2~3个样品,分别装入塑料袋、标记密封,放入便携式保温冰箱带回实验室,用自来水冲去蔬菜表面粘附的泥土,再用去离子水洗净,并迅速用干净纱布吸去表面水分,用四分法取200 g左右蔬菜可食部分样品,用不锈钢菜刀切成碎片,混匀后供蔬菜硝酸盐含量测定。

1.3 水样采集

选取福州市郊新店镇(泉头村、涧田村、埔党村、健康村、新店村和西垅村)、岳峰镇竹屿村、鼓山镇坂桥村、仓山镇万里村、城门镇城门村、盖山镇(北园村、下湖村、利升村和塘池村)等14片蔬菜基地,于2008年9月—10月,用500 mL聚乙烯塑料瓶(已用去离子水洗净并晾干)盛取蔬菜基地的田面积水坑里水深约20 cm处的水样,作为菜地田面水样;并选择蔬菜基地或其附近的井水作为地下水样。聚乙烯塑料瓶水样满溢之后扭紧盖,加上标签,随即放入便携式保温冰箱。取样的同时用GPS(GARMIN GPSmap60CSx)精确定位取样点的地理经纬度,并记录水井地下水埋深、与菜地及村庄的距离等。采集的水样当天运回实验室后立即冰冻保存,等所有水样采集完毕后统一进行化验分析。各蔬菜基地的田面水样和地下水样取样点的具体情况见表1和表2。

1.4 分析测试方法

蔬菜硝酸盐含量采用“水果、蔬菜及其制品亚硝酸盐和硝酸盐含量的测定(GB/T 15401—1994)”方法测定。水样测定方法参照参考文献[8],硝态氮采用紫外分光光度法,铵态氮采用靛酚蓝比色法,总氮采用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法,总磷采用过硫酸钾消解-钼锑抗分光光度法测定。数据处理采用

表 1 福州市郊菜地田面水取样点基本情况

Table 1 Basic things of sampling plot of vegetable surface-field water at the suburb of Fuzhou City

编号	采样地点	纬度 N	经度 E
面 1	新店镇泉头村	26°7'53"	119°20'34"
面 2	新店镇涧田村	26°7'37"	119°20'3"
面 3	新店镇埔党村	26°7'42"	119°20'14"
面 4	新店镇健康村	26°7'37"	119°20'7"
面 5	新店镇新店村	26°7'37"	119°20'7"
面 6	新店镇新店村	26°7'37"	119°20'8"
面 7	新店镇西垅村	26°8'21"	119°18'14"
面 8	岳峰镇竹屿村	26°5'36"	119°20'39"
面 9	鼓山镇坂桥村	26°5'42"	119°20'48"
面 10	仓山镇万里村	26°1'57"	119°20'48"
面 11	仓山镇万里村	26°1'51"	119°19'12"
面 12	城门镇城门村	26°0'35"	119°20'52"
面 13	盖山镇北园村	26°1'19"	119°19'29"
面 14	盖山镇北园村	26°1'19"	119°19'29"
面 15	盖山镇下湖村	26°1'25"	119°18'48"
面 16	盖山镇塘池村	26°1'10"	119°17'20"

表 2 福州市郊菜地地下水取样点基本情况

Table 2 Basic things of sampling plot of vegetable field groundwater at the suburb of Fuzhou City

编号	采样地点	纬度 N	经度 E	地下 水位/m	离菜地 距离/m	离村庄 距离/m
井 1	新店镇泉头村	26°7'55"	119°20'35"	1.20	20	20
井 2	新店镇埔党村	26°7'41"	119°20'13"	1.69	0	50
井 3	新店镇健康村	26°7'37"	119°20'7"	1.75	1	30
井 4	新店镇新店村	26°7'37"	119°20'8"	0.90	5	10
井 5	新店镇西垅村	26°8'25"	119°18'14"	1.78	30	10
井 6	岳峰镇竹屿村	26°5'37"	119°20'36"	4.17	30	10
井 7	岳峰镇竹屿村	26°5'38"	119°20'41"	2.45	2	5
井 8	鼓山镇坂桥村	26°5'42"	119°20'48"	3.16	20	5
井 9	盖山镇北园村	26°1'22"	119°19'31"	13.00	1	30
井 10	盖山镇利升村	26°1'18"	119°17'23"	15.90	50	0
井 11	盖山镇利升村	26°1'18"	119°17'23"	6.60	50	5
平均				4.78	19	16
变化范围				0.90~15.90	0~50	0~50

SPSS 统计软件和 Microsoft Excel 办公软件。

2 结果与分析

2.1 福州市郊蔬菜硝酸盐污染现状

福州市郊 7 类 46 种 120 个蔬菜样品的硝酸盐含量测定结果(表 3)表明,不同类别不同品种蔬菜的硝酸盐含量存在着较大的差异,蔬菜可食部分硝酸盐的平均含量:绿叶菜类($2\,241.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)>根茎类

($1\,085.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)>葱蒜类($620.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)>白菜类($611.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)>瓜(茄)果类($204.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)>豆荚类($108.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)>鲜菇笋类($49.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)。即便是同种蔬菜,其硝酸盐含量也存在着较大的变化范围,如绿叶菜类的 10 个小白菜样品,其硝酸盐含量变化范围在 $1\,359.1\sim5\,621.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

世界卫生组织(WHO)和联合国粮农组织(FAO)1973 年规定,人体硝酸盐(NO_3^-)的允许日摄入量(Acceptable Daily Intake)ADI 值为 $3.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 。据此,沈明珠等^[9]研究提出了蔬菜硝酸盐卫生评价标准。该标准按每人每天平均食用 0.5 kg 蔬菜,平均体重 60 kg 计,参照 WHO 和 FAO 规定的 ADI 值,推算出我国蔬菜的硝酸盐允许量为 $432\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;如果再将盐渍和烹煮时的损失(分别为 45%和 70%)加入计算,此限量可扩大为 785 和 $1\,440\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;由此,将蔬菜可食部分中硝酸盐含量的卫生标准定为 4 级(表 4)。参照此标准评价福州市郊 7 类 46 种 120 个蔬菜样品硝酸盐污染状况的结果(表 4)为:处于严重污染($\text{NO}_3^- \geq 3\,100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)的蔬菜样品计 16 个,占 13.33%,全部为绿叶菜类;处于重度污染以上($\text{NO}_3^- \geq 1\,440\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)的蔬菜样品计 39 个,占 32.5%,其中绿叶菜类占 32 个,根茎类占 5 个,葱蒜类占 2 个;处于中度污染($\text{NO}_3^- \geq 785\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)以上的蔬菜样品计 61 个,占 50.83%,其中绿叶菜类占 45 个,根茎类占 7 个,葱蒜类占 6 个,白菜类占 3 个;处于轻度污染($785\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} > \text{NO}_3^- \geq 432\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)的蔬菜样品计 11 个,占 9.17%,其中绿叶菜类占 3 个,葱蒜类占 3 个,白菜类占 3 个,瓜(茄)果类占 2 个;而豆荚类和鲜菇笋类受硝酸盐污染最轻,其蔬菜样品的硝酸盐含量均在轻度污染限量标准($\text{NO}_3^- < 432\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)以下。

2.2 福州市郊菜地田面水氮、磷污染现状

福州市郊 14 片蔬菜基地 16 个田面水样的检测结果(表 5)表明,氨态氮含量在 $0.14\sim19.78\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,平均为 $5.80\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;硝态氮含量在 $0.12\sim21.88\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,平均为 $4.17\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;总氮含量在 $2.14\sim33.80\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,平均为 $10.99\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;总磷含量在 $0.91\sim12.75\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,平均为 $4.75\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。参照《地表水环境质量标准基本项目标准限值(GB 3838—2002)》中氮磷含量分级标准(表 6),评价所取的田面水样的结果为:氨氮含量超过Ⅲ类($1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)和Ⅴ类($2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)水质标准的水样分别计 10 个和 9 个,分别占调查水样总量的 62.5%和 56.25%;硝态氮含量超过国家集中式生活饮用水地表水标准($10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的计 2 个,占调查水样总

表 3 福州市郊 46 种 120 个蔬菜样品的硝酸盐含量

Table 3 Nitrate content of vegetable samples(46 kinds and 120 samples) collected from the suburb of Fuzhou City

类型	蔬菜品种	样品数/个	NO ₃ 含量/mg·kg ⁻¹ FW			
			变化范围	平均值 1	标准差 1	平均值 2 标准差 2
绿叶菜类 (13 种 48 个)	小白菜	10	1 359.1~5 621.1	2 473.6	1 407.4	2 241.8 1 127.1
	芥蓝菜	2	3 012.8~3 128.0	3 075.4	88.5	
	油菜	2	2 989.0~3 100.3	3 044.7	78.7	
	鹅毛菜	2	2 884.3~3 010.0	2 947.2	88.9	
	空心菜	8	1 228.4~4 889.5	2 983.9	1 433.4	
	莴笋叶	2	1 341.7~1 503.0	1 422.4	114.1	
	芥菜	2	708.2~802.0	755.1	66.3	
	木耳菜	2	1 991.3~2 000.0	1 995.7	6.2	
	春菜	2	499.0~1 477.2	988.1	691.7	
	苋菜	4	859.8~1 039.0	942.4	78.2	
	菜心	4	756.9~1 095.0	933.3	162.0	
	菠菜	5	3 000.0~4 556.8	3 582.4	612.0	
	茼蒿	3	3 500.0~4 300.0	4 000.0	435.9	
	西芹	2	1 010.0~1 207.8	1 108.9	139.9	620.3 567.6
	韭黄	2	800.0~998.8	899.4	140.6	
葱蒜类 (8 种 16 个)	韭菜	2	410.7~508.0	459.4	68.8	
	韭苔	2	138.0~150.0	144.0	8.5	
	洋葱	2	21.9~35.0	28.4	9.3	
	香葱	2	189.3~210.0	199.7	14.6	
	香菜	2	432.6~450.0	441.3	12.3	
	蒜头	2	1 500.0~1 863.0	1 681.5	256.7	
	马铃薯	2	191.3~230.0	210.7	27.4	1 085.8 1 084.2
	红萝卜	2	166.8~210.0	188.4	30.5	
	茼蒿	2	2 320.8~2 500.0	2 410.4	126.7	
	白萝卜	5	1 029.9~2 137.1	1 533.9	400.3	
白菜类 (3 种 9 个)	结球甘蓝	5	79.5~1 304.8	750.8	514.6	611.7 473.6
	大白菜	2	769.9~1 230.6	1 000.2	325.8	
	花菜	2	63.3~105.0	84.2	29.5	
瓜(茄)果类 (10 种 20 个)	黑皮冬瓜	2	446.3~510.0	478.2	45.0	204.7 151.9
	合掌瓜	2	351.5~360.5	356.0	6.4	
	丝瓜	2	103.2~202.0	152.6	69.9	
	黄瓜	2	95.5~105.0	100.3	6.7	
	青椒	2	88.8~90.6	89.7	1.3	
	番茄	2	62.2~80.0	71.1	12.6	
	小冬瓜	2	305.0~380.0	342.8	52.6	
	茄子	2	83.0~85.0	84.0	1.4	
	苦瓜	2	271.0~350.0	310.5	55.9	
	瓢瓜	2	50.0~72.8	61.4	16.1	
豆荚类 (4 种 8 个)	菜豆	2	246.0~300.0	273.0	38.2	108.1 115.4
	豌豆	2	91.5~98.0	94.7	4.6	
	四季豆	2	51.8~60.0	55.9	5.8	
	豆芽菜	2	7.3~10.0	8.7	1.9	
鲜菇笋类 (4 种 8 个)	凤尾菇	2	59.0~63.5	61.3	3.2	49.8 21.5
	香菇	2	32.3~41.5	36.9	6.5	
	蘑菇	2	22.5~32.1	27.3	6.8	
	笋	2	69.0~78.8	73.9	6.9	
合计(种/个)	46	120				

表 4 福州市郊蔬菜硝酸盐卫生标准及品质分级

Table 4 Sanitation criterion and quality grade on nitrate of vegetable sampled from the suburb of Fuzhou City

项目	级别标准							
	1		2		3		4	
$\text{NO}_3^-/\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{FW}$	<432		<785		<1 440		<3 100	
污染程度	轻度		中度		重度		严重	
食用安全性	生食允许		生食不宜		生食盐渍不宜		熟食不允许	
			盐渍熟食允许		熟食允许			
蔬菜类别	个数/个	比例/%	个数/个	比例/%	个数/个	比例/%	个数/个	比例/%
绿叶菜类(13 种 48 个)	3	6.25	13	27.08	16	33.33	16	33.33
根茎类(4 种 11 个)	0	0.00	2	18.18	5	45.45	0	0.00
葱蒜类(8 种 16 个)	3	18.75	4	25.00	2	12.50	0	0.00
豆荚类(4 种 8 个)	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
白菜类(3 种 9 个)	3	33.33	3	33.33	0	0.00	0	0.00
瓜(茄)果类(10 种 20 个)	2	10.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
鲜菇笋类(4 种 8 个)	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
合计(46 种 120 个)	11	9.17	22	18.33	23	19.17	16	13.33

量的12.5%;所有检测水样的总氮和总磷含量均超过其相应的V类水质标准限值($\text{N } 2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $\text{P } 0.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$),超标率为100%。值得注意的是,所检测的田面水样中,总氮平均含量和最高含量分别为10.99和33.80 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,分别是我国地表水V类水质氮标准($2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的5.5和16.9倍;总磷平均含量和最高含量分别为4.75和12.75 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,分别是我国地表水V类水质磷标准($0.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的11.9和31.9倍。

2.3 福州市郊菜地地下水氮、磷污染现状

福州市郊毗邻蔬菜基地的11个地下水样(井水)的检测结果表明,氨氮含量在0.004~12.987 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,平均为1.415 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;硝态氮含量在0.68~25.29 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,平均为12.11 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;总氮含量在2.91~33.42 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,平均为14.42 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;总磷含量在0.260~22.513 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,平均为3.171 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。参照《地下水环境质量标准基本项目标准限值(GB/T 14848—1993)》中氮含量分级标准(表6),评价所取的地下水水样的结果表明,氨氮含量超过V类水质标准($0.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的水样计2个,占调查水样总量的18.18%;硝态氮含量超过Ⅲ类水质标准($20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的计2个,占调查水样总量的12.5%。国际上对饮用水中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量的最大允许值(Maximum Acceptable Concentration, MAC)有许多标准,最常用的有2个^[10]:美国的饮用水标准,为10 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1} \text{NO}_3^- - \text{N}$ (相当于45 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1} \text{NO}_3^-$);世界卫生组织(WHO)制定的饮用水标准,为11.3 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1} \text{NO}_3^- - \text{N}$ (相当于50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1} \text{NO}_3^-$)。医学研究表明,饮用水中硝

酸盐含量超过90 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1} \text{NO}_3^-$ (相当于20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1} \text{NO}_3^- - \text{N}$)时,将会危及人类健康^[11]。刘宏斌等^[12]依硝态氮含量将地下水质量分为5个等级:0~2 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 为优良;2~5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 为良好;5~10 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 为达标,但已处于警戒状态;10~20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 为超标; $\geq 20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 为严重超标。按照刘宏斌等的分级标准评价所取地下水水样的结果表明,硝态氮含量处于超标级别($\geq 10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)以上的计6个,占调查水样总数的54.55%;硝态氮含量处于严重超标级别($\geq 20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)以上的计3个,占调查水样总数的27.27%。

我国目前对地下水总氮、总磷含量尚未制定限值标准,若参照《地表水环境质量标准基本项目标准限值(GB 3838—2002)》中总氮和总磷含量分级标准评价所取的地下水样,则可得出:所有受检地下水样的总氮含量均超过V类水质标准($2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$),超标率为100%;总磷含量超过V类水质标准($0.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的水样计9个,占调查水样总量的81.82%。

3 结论与讨论

3.1 蔬菜硝酸盐污染状况

目前,对我国蔬菜硝酸盐污染状况的调查研究已有较多报道,调查结果一致表明,蔬菜(特别是叶菜类)受硝酸盐污染严重。周泽义等^[13]对我国13个大中城市蔬菜中硝酸盐的卫生质量进行评价,发现根茎、叶类蔬菜的硝酸盐污染最为严重,处于重度污染($1 440 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)和严重污染($3 100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)程度的

表5 福州市郊菜地田面水质量状况

Table 5 Quality status of vegetable surface-field water sampled from the suburb of Fuzhou City

编号	氨态氮/ $\text{NH}_4\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	硝态氮/ $\text{N,mg}\cdot\text{L}^{-1}$	总氮/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	总磷/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
面1	0.90	7.57	8.47	3.51
面2	0.14	3.19	4.99	3.25
面3	0.20	1.08	2.41	2.86
面4	3.62	2.31	6.80	2.73
面5	1.37	0.12	2.50	0.91
面6	0.33	1.04	2.14	2.34
面7	9.18	8.36	17.86	3.51
面8	11.15	21.88	33.80	4.68
面9	5.48	13.58	19.09	1.95
面10	19.78	0.16	20.03	12.62
面11	17.38	1.71	19.41	12.75
面12	4.48	0.32	6.16	3.25
面13	13.30	1.71	15.33	7.81
面14	0.47	1.63	3.18	5.99
面15	4.15	1.04	9.36	3.90
面16	0.78	1.00	4.35	3.90
平均	5.80	4.17	10.99	4.75
变化范围	0.14~19.78	0.12~21.88	2.14~33.80	0.91~12.75

表6 地表水环境质量标准基本项目标准限值(GB 3838—2002)

Table 6 Limited values on basic items of environmental quality criterion on surface water(GB 3838—2002)

项目	I类	II类	III类	IV类	V类
氨氮/ $\text{NH}_3\text{-N,mg}\cdot\text{L}^{-1}\leq$	0.15	0.5	1	1.5	2
硝酸盐/ $\text{N,mg}\cdot\text{L}^{-1}\leq$	10(集中式生活饮用水地表水源地补充项目标准限值)				
总氮/ $\text{N,mg}\cdot\text{L}^{-1}\leq$	0.2	0.5	1	1.5	2
总磷/ $\text{P,mg}\cdot\text{L}^{-1}\leq$	0.02	0.1	0.2	0.3	0.4

表7 福州市郊菜地地下水质量状况

Table 7 Quality status of vegetable field groundwater sampled from the suburb of Fuzhou City

编号	氨态氮/ $\text{NH}_4\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	硝态氮/ $\text{N,mg}\cdot\text{L}^{-1}$	总氮/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	总磷/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
井1	0.040	11.59	12.24	0.521
井2	0.040	25.29	33.42	22.513
井3	0.011	24.89	25.35	0.521
井4	0.007	8.24	8.59	0.651
井5	0.062	2.71	4.35	0.260
井6	0.047	6.85	7.18	0.651
井7	0.029	19.32	19.55	3.514
井8	0.171	10.35	10.69	1.562
井9	2.165	0.68	2.91	3.644
井10	0.004	20.47	20.95	0.260
井11	12.987	2.83	13.35	0.781
平均	1.415	12.11	14.42	3.171
变化范围	0.004~12.987	0.68~25.29	2.91~33.42	0.260~22.513

表8 地下水环境质量标准基本项目

标准限值(GB/T 14848—1993)

Table 8 Limited values on basic items of environmental quality criterion of groundwater(GB/T 14848—1993)

项目	I类	II类	III类	IV类	V类
氨氮/ $\text{NH}_4\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.2	≤ 0.5	> 0.5
硝酸盐/ $\text{N,mg}\cdot\text{L}^{-1}$	≤ 2.0	≤ 5.0	≤ 20	≤ 30	> 30

占所调查城市的 73.3%,硝酸盐累积量最高者可达 $8\,921\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。邹容^[14]对我国北京、上海等 8 个大城市的主要蔬菜硝酸盐污染程度进行调查和分级,发现我国居民消费量较大的绿叶菜类、根菜类、白菜类蔬菜多属重度污染或严重污染。王朝辉等^[15]对西安市 11 类 48 种蔬菜的硝酸盐含量状况进行检测的结果表明,硝态氮含量高于 $325\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,达到 4 级污染水平的有 20 种,占调查总数的 41.7%,包括全部叶菜类、部分瓜类、根菜类和葱蒜类蔬菜;其中硝态氮含量高于 $700\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,超过 4 级污染水平的有 5 种,均为叶菜类蔬菜。本研究也得到类似的结果。不同类别蔬菜可食部分硝酸盐的平均含量:绿叶菜类($2\,241.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)>根茎类($1\,085.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)>葱蒜类($620.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)>白菜类($611.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)>瓜(茄)果类($204.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)>豆荚类($108.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)>鲜菇笋类($49.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$);其中,处于严重污染($\text{NO}_3^- \geq 3\,100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)的蔬菜样品占检测总数(120)的 13.33%,处于重度污染($\text{NO}_3^- \geq 1\,440\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)以上的蔬菜样品占检测总数的 32.5%;绿叶类蔬菜的硝酸盐污染最为严重,抽检的 48 个该类蔬菜样品中处于重度污染($\text{NO}_3^- \geq 1\,440\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)以上的计 32 个,占 66.66%。蔬菜的硝酸盐含量受到多种因素的影响(如蔬菜品种、施肥、灌溉、光照、采收期等)^[16],但化学氮肥的大量施用是造成蔬菜中硝酸盐累积的主要因素^[17]。张漱茗等^[18]的试验表明,芹菜茎秆、萝卜根中硝酸盐含量均随氮肥施用量增加而显著提高。王朝辉等^[19]的研究表明,施用氮肥能显著提高 3 种蔬菜的整株硝态氮含量,小白菜的硝态氮含量比不施氮肥提高 5.4~79.7 倍,油菜提高 3.4~104.4 倍,菠菜提高 12.1~126.4 倍;随着氮肥用量的增加,蔬菜中的硝酸还原酶活性也增加,但由于蔬菜中硝态氮增加的程度远远大于生长量增加的程度,增加的硝酸还原酶活性不能将大量的硝态氮还原为铵,进而合成有机含氮化合物贮藏在植物体内,这种养分的富集效应是导致硝态氮在植株中积累的主要原因。陆正松等^[20]的研究也证明了蔬菜硝酸盐含量与施氮量的正相关关系。因此,要解决蔬菜的硝酸盐污染问题就必须科学合理

地施用化学氮肥。

3.2 菜地田面水氮磷污染状况

为了提高蔬菜产量,菜农大量施用化肥(特别是氮肥)。一些地方施氮量高达 $3\ 300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ [21],超过作物需求量的数倍。在蔬菜生产上,全年2~3季共施 $\text{N}:600\sim1\ 300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,是常见的施用量[21]。这样大量的投入,而氮支出仅为21%~36%[11],必然促使土壤中 NO_3^--N 大量累积和P素的不断提高;而大多数蔬菜是浅根系和没有庞大根系的作物,若遇灌水过量或降水量较大的情况,则 NO_3^--N 被淋洗到地下水,或表层土壤N、P随地表径流流失进入周围的地表水(渠、沟、坑、河、湖)的情况将会很容易发生[22]。菜地田间积水坑里的田面水是菜地氮磷随地表径流流失最直接的受纳水体,其氮、磷含量水平是菜地土壤氮磷流失的最直观反映。因此,测定菜地田面水的氮、磷含量可以在一定程度上反映菜地土壤对其周围地表水的氮磷面源污染贡献。但目前关于菜地田面水氮磷污染状况的调查研究报道很少。本研究的结果表明,福州市郊14片蔬菜基地16个田面水样的氨氮含量超过Ⅲ类($1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)和Ⅴ类($2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)水质标准的水样数量分别占调查水样总量的62.5%和56.25%;硝态氮含量超过国家集中式生活饮用水地表水标准($10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的水样数量占调查水样总量的12.5%;所有受检菜地田面水样的总氮和总磷含量均超过其相应的Ⅴ类水质标准限值,其中,总氮平均含量和最高含量分别为 10.99 和 $33.80\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,分别是我国地表水Ⅴ类水质氮标准($2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的5.5和16.9倍;总磷平均含量和最高含量分别为 4.75 和 $12.75\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,分别是我国地表水Ⅴ类水质磷标准($0.4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的11.9和31.9倍。由此可见,福州市郊菜地田面水受氮、磷的污染程度已较严重,这些田面水若进一步排放进入菜地周围的河流、湖泊等地表水体,必将极大地增加这些地表水体氮、磷面源污染的负荷,加速这些水体的富营养化进程。

3.3 菜地地下水氮磷污染状况

农田地下水硝酸盐污染问题已经引起国内外研究人员的关注。国外许多研究表明,农区特别是土壤排水性好、氮肥用量高、农田所占比例高、水浇地面积大的地区,地下水硝态氮污染风险较高[23-24]。美国加州Tulare县地下水硝态氮高污染地区主要集中在种植柑橘、坚果、葡萄的粗质土地区[25],日本中部地区地下水硝态氮污染与菜田的分布密切相关,菜地地下水硝态氮含量显著高于稻田或城市用地,大多数地下水

硝态氮超标区域位于菜地[26]。刘宏斌等[12]对北京平原农区地下水硝态氮污染状况的研究结果表明,农区地下水硝态氮污染在很大程度上受机井所处周边环境的影响,菜区特别是老菜区的地下水污染程度远远重于其他地区;140眼粮田农灌井硝态氮平均含量为 $2.45\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,超标率仅为8.5%,而189眼菜田农灌井平均含量为 $8.66\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,超标率高达36.0%;26个冬小麦-夏玉米轮作粮田浅层地下水平均含量为 $18.02\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,超标率为55.4%;而43个保护地菜田浅层地下水样本平均含量为 $72.42\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,超标率达100%;过量施用氮肥是地下水硝态氮污染的主要原因。高旺盛等[27]的研究结果显示,黄淮海平原典型集约农区地下水硝酸盐污染也较严重,菜地污染程度较粮田严重,地下水硝酸盐含量与N肥施用量呈明显正相关。董章杭等[28]的研究结果表明,山东省寿光市典型集约化蔬菜种植区的653个地下水水样的全年 NO_3^--N 平均含量高达 $22.6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,超出我国饮用水标准的水井比例为36.5%,超出最高允许含量(MAC, $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的水井比例达59.5%;地下水硝酸盐含量与同区氮肥施用水平呈正相关,氮肥过量施用是造成地下水硝酸盐污染的根本原因。本研究结果表明,福州市郊毗邻蔬菜基地的11个地下水样(井水)的氨氮含量超过我国地下水Ⅴ类水质标准($0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的占调查水样总量的18.18%;硝态氮含量处于超标级别($\geq 10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)以上的占调查水样总数的54.55%,处于严重超标级别($\geq 20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)以上的占调查水样总数的27.27%。目前对地下水总氮、总磷含量尚未制定限值标准,对地下水总氮和总磷污染状况的研究也鲜见报道。地下水可以通过多种途径直接进入地表水(如抽取地下水进行农田灌溉、生活洗涤等的地面排水,泉水溢出排入地表水等),因此,受氮、磷污染的地下水也会造成地表水氮磷污染负荷的加重。本研究结果表明,福州市郊毗邻蔬菜基地的11个地下水样(井水)的总氮含量全部超过Ⅴ类水质标准($2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, GB 3838—2002),超标率为100%;总磷含量超过Ⅴ类水质标准($0.4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, GB 3838—2002)的水样数量占调查水样总数的81.82%。因此,菜区地下水总氮、总磷的污染问题也应引起人们的重视。

参考文献:

- [1] 王朝辉,宗志强,李生秀.菜地和一般农田土壤主要养分累积的差异[J].应用生态学报,2002,13(9):1091-1094.
WANG Zhao-hui, ZONG Zhi-qiang, LI Sheng-xiu. Difference of several major nutrients accumulation in vegetable and cereal crop soils[J].

- Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(9):1091-1094.
- [2] 贾继文, 李文庆. 山东省蔬菜大棚土壤养分状况与施肥状况的调查[M]//谢建昌, 陈际型. 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥. 南京: 河海大学出版社, 1997: 73-75.
- JIA Ji-wen, LI Wen-qing. Research on soil nutrient and fertilization of shed-vegetable field[M]. //XIE Jian-chang, CHEN Ji-xing. Soil fertility of vegetable field and reasonable fertilization on vegetable. Nanjing: Hehai University Press, 1997: 73-75.
- [3] Santamaria P, Elia A, Serio F. Fertilization strategies for lowering nitrate contents in leafy vegetables: Chicory and rocket salad cases[J]. *J Plant Nutr*, 1998, 21(9): 1791-1803.
- [4] 宋 菲, 郭玉文, 刘孝义, 等. 土壤中重金属镉锌铅复合污染的研究[J]. 环境科学学报, 1996, 16(4): 431-435.
- SONG Fei, GUO Yu-wen, LIU Xiao-yi, et al. Pollution of cadmium, zinc and lead in brown earth[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1996, 16(4): 431-435.
- [5] 任祖淦, 林炎金, 邱孝煊, 等. 福州蔬菜硝酸盐和重金属含量的卫生评价[J]. 福建农业科技, 1996(2): 18-19.
- REN Zu-gan, LIN Yan-jin, QIU Xiao-xuan, et al. Sanitation evaluation on nitrate and heavy metal in vegetable of Fuzhou[J]. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 1996(2): 18-19.
- [6] 黄东风, 罗 涛, 邱孝煊. 福州市蔬菜卫生品质状况及其面对入世的对策探讨[J]. 福建农业科技, 2002(5): 17-19.
- HUANG Dong-feng, LUO Tao, QIU Xiao-xuan. Status on sanitation quality of vegetable and countermeasures of entering WTO for Fuzhou City[J]. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 2002(5): 17-19.
- [7] 高树芳. 福州市市场蔬菜中硝酸盐含量分析与评价[J]. 武夷科学, 2006, 22(10): 99-102.
- GAO Shu-fang. Testing and evaluation of nitrate content in vegetables in Fuzhou market and the evaluation on quality of vegetables[J]. *Wuyi Science Journal*, 2006, 22(10): 99-102.
- [8] 国家环境保护总局水和废水监测分析方法编委会编. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- National Environmental Protection General Bureau and Ocean Law Edit Council of Waste Water Inspection and Analysis. Inspective and Analytic Method of Water and Waste Water[M]. (4th edition). Beijing: Chinese Environmental Science Press, 2002.
- [9] 沈明珠, 翟宝杰, 东惠茹. 蔬菜硝酸盐累积的研究. 不同蔬菜硝酸盐和亚硝酸盐含量评价[J]. 园艺学报, 1982, 9(4): 41-48.
- SHEN Ming-zhu, ZHAI Bao-jie, DONG Hui-ru. Study on nitrate accumulation in vegetable. Evaluation on nitrate and nitrite content in different kinds of vegetable[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 1982, 9(4): 41-48.
- [10] McLay C D A, Dragten R. Predicting groundwater nitrate concentration in a region of mixed agricultural land use: a comparison of three approaches[J]. *Environment Pollution*, 2001, 115: 191-204.
- [11] 张维理, 田哲旭, 张 宁, 等. 我国北方农用氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(2): 80-87.
- ZHANG Wei-li, TIAN Zhe-xu, ZHANG Ning, et al. Investigation of nitrate pollution in ground water due to nitrogen fertilization in agriculture in North China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Sciences*, 1995, 1(2): 80-87.
- [12] 刘宏斌, 李志宏, 张云贵, 等. 北京平原农区地下水硝态氮污染状况及其影响因素研究[J]. 土壤学报, 2006, 43(3): 405-413.
- LIU Hong-bin, LI Zhi-hong, ZHANG Yu-gui, et al. Nitrate contamination of ground water and its affecting factors in rural areas of Beijing plain[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(3): 405-413.
- [13] 周泽义, 胡长敏, 王敏健, 等. 中国蔬菜硝酸盐和亚硝酸盐污染因素及控制研究[J]. 环境科学进展, 1999, 7(5): 1-13.
- ZHOU Ze-yi, HU Chang-min, WANG Min-jian, et al. The nitrate and nitrite contamination in vegetables and its control in China[J]. *Advances in Environmental Science*, 1999, 7(5): 1-13.
- [14] 邹 容. 国内蔬菜硝酸盐污染及防治研究进展[J]. 渝西学院学报(自然科学版), 2003, 2(3): 75-77.
- ZOU Rong. Research progress on the prevention and cure of domestic vegetable's pollution by nitrate[J]. *Journal of Western Chongqing University(Nature Sciences Edition)*, 2003, 2(3): 75-77.
- [15] 王朝辉, 宗志强, 李生秀, 等. 蔬菜的硝态氮累积及菜地土壤的硝态氮残留[J]. 环境科学, 2002, 23(3): 79-83.
- WANG Zhao-hui, ZONG Zhi-qiang, LI Sheng-xiu, et al. Nitrate accumulation in vegetables and its residual in vegetable fields[J]. *Environmental Science*, 2002, 23(3): 79-83.
- [16] 尹凯丹. 蔬菜硝酸盐污染现状分析及控制对策[J]. 广东农工商职业技术学院学报, 2008, 24(3): 4-6.
- YIN Kai-dan. Present situation and control strategy of the nitrate pollution in vegetable[J]. *Journal of Guangdong AIB Polytechnic College*, 2008, 24(3): 4-6.
- [17] 熊 艳, 尹增松, 马艳兰, 等. 蔬菜中硝酸盐污染现状及其防治措施[J]. 云南农业大学学报, 2003, 18(3): 304-308.
- XIONG Yan, YIN Zeng-song, MA Yan-lan, et al. The situation and control measures of nitrate pollution in vegetables [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2003, 18(3): 304-308.
- [18] 张漱茗, 江丽华, 闫 华, 等. 济南市售蔬菜硝酸盐含量及施肥影响[J]. 土壤肥料, 1997(5): 22-24.
- ZHANG Su-ming, JIANG Li-hua, YAN Hua, et al. Nitrate content of vegetable in Jinan City and effect of fertilization[J]. *Soils and Fertilizers*, 1997(5): 22-24.
- [19] 王朝辉, 李生秀, 田霄鸿. 不同氮肥用量对蔬菜硝态氮累积的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 22-28.
- WANG Zhao-hui, LI Sheng-xiu, TIAN Xiao-hong. Influence of nitrogen rates on nitrate accumulation in vegetables[J]. *Plant Nutrient and Fertilizer Science*, 1998, 4(1): 22-28.
- [20] 陆正松, 赵 玲, 张 硕, 等. 土壤污染、施肥对稻米和蔬菜品质的影响[J]. 土壤肥料, 2001(4): 13-16.
- LU Zheng-song, ZHAO Ling, ZHANG Shuo, et al. Effect of soil pollution and fertilization on qualities of rice and vegetable[J]. *Soils and Fertilizers*, 2001(4): 13-16.
- [21] Cao Z H, Huang J F. Soil quality evolution and public healthy issues after land use change from rice to vegetables[C]// Paper presented at the international conference on environment change and public healthy. Hong Kong: Baptist University Hong Kong, 2002: 12-16.
- [22] 曹志洪. 施肥与水体环境质量——论施肥对环境的影响[J]. 土

- 壤, 2003, 35(5):353-363.
- CAO Zhi-hong. Effect of fertilization on water quality of fertilization on environment quality[J]. *Soils*, 2003, 35(5):353-363.
- [23] Nolan B T, Ruddy B C, Hitt K J, et al. Risk of nitrate in ground-waters of the United States—a national perspective [J]. *Environmental Science and Technology*, 1997, 31(8):2229-2236.
- [24] Burkart M R, Stoner J D. Nitrate in aquifers beneath a cultural systems[J]. *Water Science and Technology*, 2002, 45(9):19-28.
- [25] Zhang M, Geng S, Smallwood K S. Assessing groundwater nitrate contamination for resource and landscape management[J]. *Ambio*, 1998, 27(3):170-174.
- [26] Babiker I S, Kato K, Ohta K, et al. Assessment of groundwater contamination by nitrate leaching from intensive vegetable cultivation using geographical information system[J]. *Environment International*, 2004, 29(8):1009-1017.
- [27] 高旺盛, 黄 进, 吴大付, 等. 黄淮海平原典型集约农区地下水硝酸盐污染初探[J]. 生态农业研究, 1999, 7(4):41-43.
- GAO Wang-sheng, HUANG Jin, WU Da-fu, et al. Investigation on nitrate pollution in ground water at intensive agricultural region in Huanghe-Huaihe-Haihe plain[J]. *Eco-Agriculture Research*, 1999, 7(4):41-43.
- [28] 董章杭, 李 季, 孙丽梅. 集约化蔬菜种植区化肥施用对地下水硝酸盐污染影响的研究——以“中国蔬菜之乡”山东省寿光市为例[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(6):1139-1144.
- DONG Zhang-hang, LI Ji, SUN Li-mei. Nitrate contamination in the groundwater of intensive vegetable cultivation areas in Shouguang City, Shandong Province, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(6):1139-1144.