

蔬菜的硝态氮累积及菜地土壤的硝态氮残留

王朝辉,宗志强,李生秀,陈宝明(西北农林科技大学资源环境学院,陕西杨陵 712100, E-mail: zhaohuiw@public.xa.sn.cn)

摘要:在不同季节对 11 类 48 种蔬菜的测定表明,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。叶菜硝态氮累积虽为严重,但其中部分蔬菜叶片的硝态氮含量却低于 3 级污染水平。对不同类型菜地和农田土壤的测定发现,菜地 0~200cm 各土层的硝态氮残留量均高于农田土壤,常年露天菜地 200cm 土层的硝态氮残留总量为 $1358.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,2 年大棚菜田为 $1411.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,5 年大棚则达 $1520.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,而一般农田仅为 $245.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。菜地土壤的硝态氮残留严重威胁菜区地下水环境。

关键词:蔬菜;土壤;硝态氮累积;硝态氮残留

中图分类号:S158.3 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2002)03-05-0079

Nitrate Accumulation in Vegetables and Its Residual in Vegetable Fields

Wang Zhaohui, Zong Zhiqiang, Li Shengxiu, Chen Baoming(College of Resources and Environmental Sciences, Northwestern Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China, E-mail: zhaohuiw@public.xa.sn.cn)

Abstract: Determinations of 11 kinds, 48 varieties of vegetables were carried out at different seasons. The results showed that nitrate-N concentrations in 20 vegetables reached Pollution Level 4 ($\text{NO}_3^- \cdot \text{N} > 325 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), which accounted for 41.7% of the total number of the sampled vegetables and included all of the leafy, and most of the melon, root, onion and garlic vegetables. Among them, 5 leafy vegetables even exceeded Level 4 ($\text{NO}_3^- \cdot \text{N} > 700 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Although leafy vegetables were usually apt to heavily accumulate nitrate, most of them were with nitrate-N concentrations lower than Level 3 ($\text{NO}_3^- \cdot \text{N} < 325 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) in leave blades. Further investigation showed that vegetable soils accumulated more nitrates in each layer from 0 cm to 200 cm than did cereal crop soil. The total amount of residual nitrate-N was $1358.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ in the 200 cm soil profile of usual vegetable fields, and $1411.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $1520.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ in the 2-years and the 5-years long plastic greenhouse fields respectively, however that in the cereal crop fields was only $245.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. Nitrate residual in vegetable soils formed serious threats to underground water in vegetable growing areas.

Keywords: vegetable; soil; nitrate accumulation; nitrate residual

人类摄入的硝态氮有 72%~94% 来自蔬菜^[1],蔬菜硝态氮累积对人类健康的危害已引起世界各国的重视^[2,3];荷兰规定莴笋的硝态氮含量不能超过 $1017 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;德国规定菠菜不能超过 $791 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[4]。1997 年欧共体对叶类蔬菜规定了更为严格的标准^[5]。1982 年沈明珠等对我国 34 种蔬菜进行了检测,发现 10 种蔬菜硝态氮含量超过 $325 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,达 4 级污染水平^[6]。近年来,为了提高蔬菜产量,满足市场不断增长的需求,菜农大量施用化学肥料,特别是氮肥,一些地方施氮量高达 $3300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[7],超过作物需求量的数倍。

伴随着过量施用氮肥,环境污染也日益严重:未被作物吸收而残留在土壤中的氮素是水体和大气气污染的重要来源。据估计,每年随径流或降水流入河、湖中的氮素约有 60% 来自施入农田的化肥^[8]。京津唐地区 69 个观测点的地下水,半数以上硝态氮含量超标,高者达 $67.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[9];黄土高原中南部的渭北旱塬

基金项目:国家重点基础研究专项经费资助项目 (G1999011707);国家自然科学基金项目 (49890330,39970429,30070429)

作者简介:王朝辉(1968~),男,河北元氏人,博士,副教授,从事旱地土壤和作物系统氮素动态及其生态环境效应方面的研究。

收稿日期:2001-04-13;修订日期:2001-07-27

和关中灌区,近 30% 的地下水硝态氮超标^[10]. 目前,我国蔬菜播种面积达 1100 万 hm^2 ,占全国农作物总面积的 $1/10$ ^[11]. 蔬菜生产中氮肥用量大,灌水数量和频率又高,菜地土壤的硝态氮残留一直受到人们关注. 本文根据对多种蔬菜 and 不同类型菜地土壤的测定,讨论当前蔬菜生产中氮素污染的严重性.

1 材料及方法

1.1 蔬菜样品的采集和测定

选取西北农林科技大学蔬菜市场、杨陵区康乐路蔬菜批发市场、西安市胡家庙蔬菜批发市场、炭市街农副产品批发市场等 4 个较大的蔬菜市场,分别于 2000-04 ~ 2000-06 (春季)、2000-11 ~ 2000-12 (冬季),采集人们普遍食用的叶菜类、根菜类、瓜类、茄果类、豆类、花菜类、葱蒜类、芽菜类、薯芋类、水生类和食用菌类等 11 类,48 种蔬菜. 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,放入致冷箱,带回实验室,用自来水冲去根系表面粘附的泥土,并迅速用无氮吸水纸吸干,地上部分不冲洗. 根据分析目的把蔬菜按器官、部位分开,迅速称重. 然后将样品分别切碎混匀,装入塑料袋,标记密封,放于冰箱,在 $0\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存. 硝态氮在采样后当日或次日浸取. 采用研磨浸提法^[12],制成待测液. 待测液中的硝态氮用连续流动分析仪测定.

1.2 菜地土壤样品的采集和测定

分别自南庄村、杨陵、西北农林科技大学蔬菜试验站,选取 5 年大棚、2 年大棚和常年露地 3 种菜田,并以距菜地 200 m 的一般农田为对照,研究不同种植年限和栽培方式菜田土壤的硝态氮残留. 3 种不同类型的菜田在建棚或露天种植蔬菜前亦为小麦-玉米轮作的一般农田. 土壤采样时间为 2000-03-20 ~ 2000-04-10. 此时,5 年大棚菜地内生长着黄瓜、番茄和芹菜等;2 年大棚内生长着菠菜、小白菜和芹菜;露地菜田经过冬季休闲,即将整地移栽甘蓝、辣椒和茄子;对照农田正值冬小麦生长季节. 采样时,各种类型的菜田和农田分别选取 4 ~ 5 个不同的田块,根据其面积大小,每块地采 3 ~ 5 个

样点. 每个样点按 20 cm 深度为一层取样,直至 200 cm. 同一田块各样点同一土层的土壤分别混匀作为分析样品,每一分析样品约 1000 g 左右鲜土. 取好的土壤样品分别装入塑料袋,标记密封,放入致冷箱,带回实验室后,迅速过 2 mm 筛,取 $1/2$ 放入冰箱,在 $0\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存,用于测定土壤的硝态氮. 土壤的硝态氮用 1 mol/L 的 KCl 浸取^[13],连续流动分析仪测定.

2 结果与分析

2.1 蔬菜可食部分的硝态氮累积

硝态氮是蔬菜吸收的主要氮素形态,在氮素用量合适时,吸入的硝态氮会很快被还原转化. 但在过量施用氮肥情况下,蔬菜吸收的硝态氮不能及时还原,便累积在体内. 对 48 种蔬菜在不同季节采样测定的结果(表 1)表明,累积硝态氮的数量因蔬菜种类和品种不同而有极大差异. 从各类蔬菜不同品种硝态氮含量的平均值来看,叶菜类的硝态氮含量较高,平均为 $576.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;其次是根菜类、瓜类、葱蒜类和薯芋类蔬菜,平均值介于 $165.3 \sim 276.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;茄果类、豆类、芽菜类、花菜类、水生类和食用菌类蔬菜的硝态氮含量较低,介于 $19.5 \sim 108.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间.

同一类蔬菜中不同品种的硝态氮含量也存在显著差异. 检测的 15 种叶菜中,芹菜的含量最高,达 $1089.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,甘蓝含量最低,仅 $326.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;5 种瓜菜中,西葫芦的含量为 $543.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,而黄瓜为 $52.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;5 种葱蒜类蔬菜中,蒜苔的硝态氮含量为 $588.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,洋葱却仅为 $5.9\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. 同一种蔬菜的硝态氮含量因采样季节不同也有明显差异. 春季的菠菜为 $1122.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,而冬季的仅为 $292.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,相差数倍之多. 芹菜、茼蒿、西葫芦、蒜苔等多种蔬菜也有类似情况. 其原因除蔬菜品种、肥水管理、光温等环境气候因素外^[14],还与蔬菜从采收到销售之间的贮存期长短有关,贮存期延长,硝态氮因有充分的还原时间而含量降低,但这又有使蔬菜累积亚硝态氮的危险^[15].

根据蔬菜的食用卫生标准^[6],调查的 48 种

表 1 48 种蔬菜可食部分(鲜重)的硝态氮含量 / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
Table 1 Nitrate-N contents in the edible parts of 48 vegetables

蔬 菜		采样时间		平均
类别	名称	春季	冬季	
叶菜类	芹菜	1448.0	731.4	1089.7
	小白菜	927.6	785.2	856.4
	茺荽	1254.5	343.0	798.8
	小茴香	658.7	799.0	728.8
	菠菜	1122.0	292.6	707.3
	空心菜	584.4		584.4
	大青菜		526.9	526.9
	生菜	544.7	492.0	518.3
	油白菜	458.1	524.1	491.1
	黄心菜		474.8	474.8
	茼蒿	179.4	719.1	449.2
	莴笋	433.2	420.5	426.9
	莴笋苗		336.5	336.5
	大白菜		330.6	330.6
	甘蓝	344.8	307.9	326.3
根菜类	白萝卜	597.4	500.8	549.1
	心里红		236.4	236.4
	白山药		186.8	186.8
	胡萝卜	144.0	119.5	131.8
瓜类	西葫芦	898.9	187.3	543.1
	佛手瓜		183.4	183.4
	苦瓜	100.6		100.6
	冬瓜		91.5	91.5
	黄瓜	24.4	79.7	52.0
葱蒜类	蒜苔	1131.3	45.8	588.5
	蒜苗	694.1	261.3	477.7
	韭菜	571.2	106.6	338.9
	大蒜	24.8	24.7	24.7
	大葱	42.9	6.5	24.7
	韭黄	10.9	8.9	9.9
	洋葱	5.6	6.3	5.9
薯芋类	生姜	441.8	164.3	303.0
	土豆	24.4	30.9	27.6
茄果类	茄子	246.8	122.9	184.8
	蕃茄	16.5	139.6	78.0
	甜椒	39.1	109.9	74.5
	尖辣椒	30.6	26.4	28.5
豆类	四季豆	290.2	98.8	194.5
	芸豆		101.6	101.6
	肉豆		73.3	73.3
	豇豆	54.4		54.4
	豆角王	35.0	42.0	38.5
花菜类	菜花	152.3	86.4	119.4
	绿菜花	89.2	106.8	98.0
芽菜类	豆芽菜	24.5	75.2	49.8
	豆芽	58.0	15	36.5
水生类	莲藕	28.2	10.8	19.5
食用菌类	蘑菇	20.1	39.8	30.0

蔬菜中,达到 4 级污染水平(硝态氮含量 $> 325 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),既不宜生食、盐渍,也不宜熟食的蔬菜有 20 种,占被调查蔬菜总数的 41.7%,包括全部的叶菜类、部分根菜类和葱蒜类;其中有 5 种叶菜还超过 4 级污染水平(硝态氮含量 $> 700 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。硝态氮含量低于 $98 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的优质蔬菜仅 18 种,占被调查蔬菜总数的 37.5%。可见,蔬菜的硝态氮累积比 20 世纪 80 年代初更加严重^[6];叶菜类、根菜类和葱蒜类蔬菜的硝态氮累积更为突出。这些情况提示,硝态氮在蔬菜中的累积已对人类健康构成严重威胁。

2.2 叶菜类蔬菜不同部位的硝态氮累积

和其它蔬菜相比,叶菜类蔬菜的硝态氮累积更为严重,但并非其可食部分各器官部位的硝态氮含量都一样高。10 种叶菜不同器官硝态氮的测定(表2)表明,叶片的硝态氮含量均显

表 2 叶菜不同部分的硝态氮含量($\text{NO}_3\text{-N}$,鲜重)/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
Table 2 Nitrate-N contents in the different parts of leafy vegetables

蔬菜	叶柄和茎秆 ¹⁾		叶 片	
	范围	平均	范围	平均
小白菜	935.1 ~ 1005.7	970.4	410.3 ~ 465.6	438.0
茼蒿	865.3 ~ 961.5	912.5	448.0 ~ 738.3	602.2
芹菜	424.2 ~ 1092.1	784.9	276.4 ~ 1037.7	576.9
黄心菜	602.2 ~ 883.5	742.9	85.2 ~ 175.9	130.5
油白菜	650.3 ~ 755.3	702.8	118.8 ~ 185.8	152.3
大青菜	357.3 ~ 997.7	677.5	58.0 ~ 201.5	129.7
生菜	593.8 ~ 743.2	668.5	378.8 ~ 394.6	386.7
菠菜	330.1 ~ 650.3	501.8	94.3 ~ 126.7	111.4
大白菜	257.5 ~ 638.2	414.2	12.6 ~ 166.1	90.6
甘蓝	122.9 ~ 847.2	407.5	103.3 ~ 203.1	130.4

1) 茼蒿和芹菜的测定值包括茎秆部分,其它蔬菜仅为叶柄。

著低于叶柄和茎秆。如硝态氮累积量较高的小白菜叶柄含量为 $970.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而叶片的含量仅为 $438.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,比叶柄低 54.9%;黄心菜叶柄的硝态氮含量为 $742.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而叶片的含量只有 $130.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,比前者低 82.4%。虽然 10 种叶菜叶柄或茎秆的硝态氮含量均达到 4 级污染水平,但黄心菜、油白菜、大青菜、菠菜、大白菜和甘蓝的叶片硝态氮含量均不到 3 级污

染水平(硝态氮含量 $< 325 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),既可盐渍,也可熟食.看来,即使在叶菜硝态氮污染较为严重的情况下,叶片仍是比较安全的食用部分.

2.3 菜地土壤的硝态氮残留

200cm 土层硝态氮总残留量计算:先根据所测定的各土层硝态氮含量和土壤容重计算每一土层(20cm)的硝态氮残留量(R_i):

$$R_i = c \times (D \times H \times A) \times 10^{-6}$$

R_i :每一土层的硝态氮($\text{NO}_3^- \text{ - N}$)残留量,单位: $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; c :该土层土壤硝态氮含量,单位: $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; D :该土层土壤容重,单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; H :每一土层的厚度:0.2m; A :每公顷土地的面积:100m × 100m;

再由 0 ~ 2m 深土壤中各土层的硝态氮残留量之和,求出 200cm 土层硝态氮总残留量.

不同类型菜地和农田 0 ~ 200cm 土层硝态氮的测定(图 1)表明,随土层深度增加,土壤硝态氮残留量降低,但下降速度因土层深度而异,在 0 ~ 60cm 的土层中,硝态氮残留量迅速降低,在 60 ~ 200cm 的土层中降低速度较慢,呈逐渐下降趋势,且不同类型菜地各土层的硝态氮残留量均高于农田.一般农田不同土层的硝态氮残留量介于 $113.2 \sim 1.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,而 5 年大棚菜田的硝态氮残留量介于 $509.4 \sim 61.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,2 年大棚菜地介于 $332.9 \sim 53.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,常年露天菜地介于 $467.6 \sim 56.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$.从 200cm 土层的硝态氮残留总量(各土层残留量之和)来看,常年露天菜地为 $1358.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,2 年大棚菜田为 $1411.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,5 年大棚为 $1520.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,一般农田的残留总量仅为 $245.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$.可见,菜田土壤的硝态氮残留量显著地高于一般农田,大棚菜地更为突出.如调查的两处大棚,种菜史虽然仅有 2 年和 5 年,硝态氮残留总量已分别比农田高出 4.8 和 5.2 倍;露天菜地也比农田土壤高出 4.5 倍.

一般作物,如小麦、玉米的根系在土壤中的分布可达 200cm 以上,而叶菜类、根菜类、葱蒜类、茄果类、瓜类和豆类等蔬菜的根系分布较

浅,主要集中在表层 0 ~ 40cm 的土层中^[16],在菜地土壤中淋洗到 40cm 以下的硝态氮就难以再被作物吸收;而且硝态氮又不易被土壤胶体吸附^[17].因此会不断在雨水和灌溉水的淋洗作用下向土壤深层迁移,污染菜区地下水环境.调查的常年露地、2 年和 5 年大棚菜田中,180 ~ 200cm 土层的硝态氮残留量分别为 $56.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, $89.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $67.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上,远高于一般农田土壤($2.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$).可见,菜区土壤的硝态氮淋洗现象非常严重.

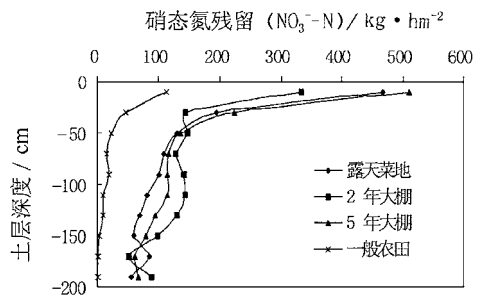


图 1 不同类型菜地和农田土壤的硝态氮残留

Fig.1 Nitrate-N residual in different vegetable soils and cereal crop soil

3 结论

不同季节测定了 48 种蔬菜硝态氮的含量.结果表明,不同种类蔬菜可食部分的硝态氮累积存在明显差异.叶菜类蔬菜的硝态氮含量较高,平均为 $576.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;其次是根菜类、瓜类、葱蒜类和薯芋类蔬菜,平均值介于 $165.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 276.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;而茄果类、豆类、芽菜类、花菜类、水生类和食用菌类蔬菜的含量较低,介于 $19.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 108.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.蔬菜的硝态氮含量因品种、采样季节不同也有明显差异.叶菜类蔬菜的硝态氮累积还因器官部位而异,10 种叶菜中,叶片的硝态氮含量均显著低于叶柄和茎秆.

调查的 48 种蔬菜中,20 种蔬菜的硝态氮含量达到 4 级污染水平,占被调查蔬菜总数的 41.7%,包括全部的叶菜类、部分瓜菜类、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.而硝态氮含量低的优质蔬菜仅 18 种,占

所调查蔬菜的 37.5 %。叶菜的硝态氮累积虽为严重,但其中黄心菜、油白菜、大青菜、菠菜、大白菜和甘蓝的叶片硝态氮含量均低于 3 级污染水平,既可盐渍,也可熟食。

蔬菜生产中过量施用氮肥,频繁和过量灌水,不仅使硝态氮在蔬菜体内大量累积,还在菜地土壤中大量残留,使菜田土壤的硝态氮残留量明显高于一般农田。常年露天菜地 200cm 土层的硝态氮残留总量可达 $1358.8\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,2 年大棚菜田为 $1411.8\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,5 年大棚为 $1520.9\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,而一般农田仅为 $245.4\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。蔬菜作物的根系分布较浅,残留在菜地土壤深层的硝态氮难以被重新吸收利用;加之硝态氮又不易被土壤胶体吸附,在雨水和灌溉水的淋洗作用下会不断向土壤深层迁移,污染菜区的地下水环境。

参考文献:

1 Walker R. Nitrate, nitrite and N-nitroso compounds: A review of the occurrence in food and diet and the toxicological implications. *Food Add. Cont.*, 1990, **7**: 717 ~ 768.

2 Dich J, Jrvinen R, Knekt P et al. Dietary intakes of nitrate, nitrite and NDMA in the Finish Mobile Clinic Health Examination Survey. *Food Add. Contam.*, 1996, **13**: 541 ~ 552.

3 Choi B C K. N-nitroso compounds and human cancer: a molecular epidemiological approach. *Am. J. Epidemiol.*, 1985, **121**: 737 ~ 743.

4 Lillie A, Niels E N. A new cultivation method for the production of vegetables with low content of nitrate. *Scientia Horticulturae*, 1992, **49**: 167 ~ 171.

5 Santamaria P, Elia A, Parente A et al. Fertilization strategies for lowering nitrate accumulation in leafy vegetables:

Chicory and rocket salad cases. *Journal of Plant Nutrition*, 1998, **21**(9): 1791 ~ 1803.

6 沈明珠, 翟宝杰, 东惠茹等. 蔬菜硝酸盐累积的研究 I. 不同蔬菜硝酸盐、亚硝酸盐含量评价. *园艺学报*, 1982, **9**(4): 41 ~ 48.

7 贾继文, 李文庆等. 山东省蔬菜大棚土壤养分状况与施肥状况的调查研究. 见谢建昌, 陈际型主编. 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.

8 马立珊, 钱敏仁. 太湖流域水环境硝态氮和亚硝态氮污染的研究. *环境科学*, 1987, **8**(2): 60 ~ 65.

9 张维理, 田哲旭, 张宁等. 我国北方农田氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查. *植物营养与肥料学报*, 1995, **1**(2): 80 ~ 87.

10 吕殿青, 同延安, 孙本华等. 氮肥施用对环境污染影响的研究. *植物营养与肥料学报*, 1998, **4**(2): 8 ~ 15.

11 李国庆. 我国人均占有蔬菜超过二百五十公斤. *科技日报*, 1998 年 12 月 17 日(第 1 版).

12 王朝辉, 李生秀. 蔬菜不同器官的硝态氮含量与水分、全氮、全磷含量的关系. *植物营养与肥料学报*, 1996, **2**(2): 144 ~ 152.

13 李生秀, 贺海香, 李和生等. 关于供氮指标的研究 II. 评价 EUF 析滤出的矿质氮在反映土壤供氮能力方面的效果. *土壤学报*, 1993, **30**(4): 447 ~ 452.

14 Blom-Zandstra M. Nitrate accumulation in vegetables and its relationship to quality. *Ann. Appl. Biol.*, 1989, **115**: 553 ~ 561.

15 Minotti P L. Potential nitrate levels in edible plant parts. Donald R, Nielson J G, MacDonald (eds). *Nitrogen in the Environment: Vol. 2 Soil-Plant Nitrogen Relationship*. Academic Press, New York, San Francisco, London. 1978. 235 ~ 252.

16 庄舜尧, 孙秀廷. 肥料氮在蔬菜地中的去向及平衡. *土壤*, 1997, **29**(1): 80 ~ 83.

17 文启孝. 土壤氮素的含量和形态. 见朱兆良, 文启孝主编. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科技出版社, 1992. 3 ~ 26.