

现代生物农业系列丛书

蔬菜营养与品质



主 编 王正银
副主编 徐卫红 李会合



科学出版社
www.sciencep.com

现代生物农业系列丛书

蔬菜营养与品质

主 编 王正银

副主编 徐卫红 李会合

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以植物营养学、蔬菜学、环境科学、人类健康学等多学科交叉和有机结合为特点,首次系统阐述了蔬菜营养与品质的基本理论和优质蔬菜生产的营养调控技术。全书共八章,包括蔬菜营养基本原理、蔬菜的品质特性、蔬菜营养与硝酸盐、蔬菜营养与重金属、土壤营养与蔬菜品质、设施蔬菜营养与品质、特用蔬菜营养与品质、优质蔬菜的营养调控。

本书适于大专院校农业资源与环境、土壤学、植物营养学、园艺学、农学、生命科学、环境科学、食品科学等专业的本科生、研究生和教师以及广大农业科技工作者参考阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

蔬菜营养与品质/王正银主编. —北京: 科学出版社, 2009

(现代生物农业系列丛书)

ISBN 978-7-03-023233-5

I. 蔬… II. 王… III. 蔬菜-食品营养 IV. R151.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 163229 号

责任编辑: 李秀伟 沈晓晶 王 静/责任校对: 陈丽珠

责任印制: 钱玉芬/封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 4 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2009 年 4 月第一次印刷 印张: 29 1/4

印数: 1—1 500 字数: 672 000

定价: 86.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《蔬菜营养与品质》编委会

主 编 王正银

副主编 徐卫红 李会合

编著者 (按编写的章节顺序排序)

徐卫红 李会合 钟 攀 董 燕

李振轮 苏胜齐 李清荣 王正银

前 言

在植物营养学研究领域,揭示植物营养与农产品优质高产的关系,改善植物营养环境及代谢水平以获得优质农产品,已成为近年来的研究热点和必然发展趋势。农业栽培作物种类很多,国内外对植物性农产品优质生产的理论与技术也做了不少研究,其中以粮食作物营养与品质的研究取得的成果较为系统。蔬菜是一类特殊且十分重要的植物性农产品,是人类维生素、矿物质等营养物质的自然来源。我国蔬菜单产和总量的水平很高,但是产品质量却未能保持同步增长,这不仅直接影响到人民的健康,而且也极大地制约着农民的经济收入和农业的高效可持续发展。随着人们对物质生活质量要求的提高,蔬菜品质与人类健康的关系正日益受到广泛的重视。制约蔬菜品质的因素很多,除具有决定作用的遗传因素外,蔬菜生长的营养环境条件也起着十分重要的作用。介质的营养平衡状况不仅直接影响蔬菜的产量和营养品质,而且还直接或间接地影响蔬菜的硝酸盐、毒性重金属、农药残留、有害次生代谢产物等安全品质。因此,重视研究蔬菜营养与品质的关系,将极大地丰富植物营养学和蔬菜学领域的研究成果,对于发展我国优质蔬菜生产具有重要的理论和实践意义。

《蔬菜营养与品质》一书将植物营养学原理应用于蔬菜学,以植物营养学、蔬菜学、环境科学、人类健康学等多学科交叉和有机结合为特点,在近二十年来作者所承担的科技部、四川省、重庆市、国际植物营养所(IPNI,原PPI/PPIC)等多项课题的研究成果基础上,结合国内外最新相关研究结果编写而成。本书以植物营养与蔬菜品质的关系为主线,首次详细阐述了蔬菜营养的基本原理和品质特性,系统论述了影响蔬菜硝酸盐和重金属积累的营养环境因素及其有效控制技术,综合分析了土壤营养条件与蔬菜品质的关系,归纳总结了设施栽培蔬菜营养与品质的研究成果,扼要介绍了近年来发展迅速的特种蔬菜营养与品质研究现状,重点叙述了优质蔬菜的营养调控理论与技术以及重庆地区代表性优质蔬菜营养调控的研究成果,初步提出了优质蔬菜营养调控的研究方向。本书力图构建“蔬菜营养与品质”的理论体系,将其作为“植物营养与品质研究”的重要组成部分,本书可视为《作物营养与品质》(王正银,1999,中国农业科学技术出版社)一书的续篇。因此,本书在写作上力求突出系统性、理论性、新颖性和可读性。

本书由王正银构建全书整体框架,完成大纲。各章的编写者为:第一章,徐卫红;第二章和第三章,李会合;第四章,钟攀、董燕;第五章,李振轮;第六章,徐卫红;第七章,苏胜齐;第八章,李清荣、钟攀、王正银。徐卫红审阅了第四章和第八章的第一至第四节。全书由王正银统稿、定稿。

近十年来,国际植物营养所(IPNI)一直资助本课题组开展蔬菜营养与品质的相关研究,重庆市科学技术委员会多次立项资助本研究,这些研究所取得的一系列重要成果是编著本书的基础;四川省农业科学院土壤肥料研究所涂仕华研究员鼎力支持本书的编写工作,对本书的大纲编写提出了十分中肯的修改意见和建议;重庆市农业局农业技术推广总站站长孙彭寿研究员对本书的编写结构提出了很好的建议;国际植物营养

所 (IPNI) 还为本书的出版提供了经费支持。在此一并致以诚挚的谢意。

本书编写过程中引用了一些前人的研究成果, 由于篇幅原因, 未能一一列出这些成果的出处, 在此谨向相关作者表示感谢。

由于编写者的学识水平有限, 书中不当和错误之处在所难免, 切望读者批评指正。

王正银

2008 年 8 月 8 日于重庆北碚

目 录

前言

第一章 蔬菜营养基本原理	1
第一节 蔬菜需要的营养物质及其作用	1
一、必需营养元素	1
二、有益元素	21
三、有机物质	24
第二节 主要蔬菜的营养特性	27
一、蔬菜对养分需求的一般特点	27
二、蔬菜营养的阶段性和特殊性	31
三、蔬菜营养的特殊性	31
第三节 蔬菜的土壤营养	32
一、蔬菜的土壤营养条件	32
二、土壤化学性状与蔬菜生长	33
三、土壤物理性状与蔬菜生长	34
第四节 蔬菜设施栽培的营养环境	35
一、营养液	36
二、光照	39
三、温度	40
四、CO ₂	41
第五节 蔬菜营养的调控	42
一、调控原则	42
二、调控原理	47
三、调控技术	52
参考文献	57
第二章 蔬菜的品质特性	68
第一节 蔬菜的一般品质特性	68
一、营养物质	69
二、风味物质	70
三、外观性状	71
第二节 蔬菜品质概论	72
一、蔬菜品质的分类	72
二、影响蔬菜品质的因素	76
三、蔬菜品质成分间的关系	76
第三节 主要蔬菜的品质特征	78

一、根类蔬菜	78
二、茎用蔬菜	79
三、叶类蔬菜	80
四、花菜类	83
五、瓜果类蔬菜	84
六、食用菌类	86
第四节 蔬菜品质的评价	89
一、感观评价	89
二、营养成分评价	90
三、综合评价	96
参考文献	97
第三章 蔬菜营养与硝酸盐	100
第一节 蔬菜硝酸盐累积研究进展	100
一、国内外蔬菜硝酸盐累积研究概况	101
二、蔬菜硝酸盐的限量标准	101
三、蔬菜硝酸盐的吸收、运输、还原和同化	104
四、蔬菜硝酸盐累积的机制	108
五、蔬菜硝酸盐累积的影响因素	111
六、研究展望	128
第二节 蔬菜矿质营养与硝酸盐	129
第三节 蔬菜氮素营养与硝酸盐	134
一、氮肥施用量	134
二、氮肥种类	139
三、氮肥形态及配比	140
四、氮肥施用时期和方法	142
五、氮素的供应方式	143
六、施用缓效氮肥和硝化抑制剂	144
七、不同土壤施氮的效应	147
第四节 蔬菜磷素营养与硝酸盐	149
第五节 蔬菜钾素营养与硝酸盐	150
第六节 蔬菜中量、微量元素营养与硝酸盐	152
一、钙、镁、硫	152
二、钼、锰、锌、硼	154
三、氯	155
四、铁和铜	156
第七节 蔬菜根外营养与硝酸盐	156
第八节 蔬菜平衡营养与硝酸盐	158
一、大量元素氮、磷、钾配施	158
二、大量元素与中微量元素平衡	161

三、化学氮肥与有机肥氮素营养平衡	163
第九节 蔬菜生产中硝酸盐的全过程控制技术措施	167
一、降低蔬菜硝酸盐的技术措施	167
二、重庆叶类蔬菜硝酸盐全过程控制技术	168
第十节 蔬菜硝酸盐与营养品质的关系	170
一、蔬菜硝酸盐与蛋白质的关系	171
二、蔬菜硝酸盐与糖分的关系	171
三、蔬菜硝酸盐与草酸的关系	172
四、蔬菜硝酸盐与维生素 C 的关系	172
五、蔬菜硝酸盐与矿物质品质的关系	172
参考文献	174
第四章 蔬菜营养与重金属	189
第一节 蔬菜重金属污染研究	189
一、蔬菜重金属污染与食品安全问题	189
二、蔬菜重金属污染的来源	190
三、蔬菜重金属污染研究概况	190
四、蔬菜重金属相关限量标准和健康风险评估研究	196
第二节 重金属在蔬菜中的吸收、运输和累积机制	200
第三节 重金属对蔬菜和人体的毒害机制	201
一、重金属主要有毒形态和在蔬菜体内的分布形态	201
二、重金属对蔬菜的毒害作用机制	202
三、重金属对人体健康的毒害	207
第四节 蔬菜吸收重金属的内在影响因素	209
一、蔬菜不同种类和品种对重金属的吸收研究	209
二、蔬菜不同部位对重金属的吸收效应	212
三、蔬菜不同生长期对重金属吸收的差异	213
第五节 介质营养水平与蔬菜重金属	213
第六节 土壤营养环境与蔬菜重金属	214
一、土壤重金属	215
二、土壤溶液的 pH	229
三、土壤 E_h	229
四、土壤有机质含量	229
五、土壤中外源化学物质的影响	230
六、土壤中元素之间的相互作用	230
七、土壤黏粒含量	231
第七节 大气环境与蔬菜重金属	232
一、大气降尘的影响	232
二、汽车尾气的影响	233
第八节 肥料施用与蔬菜重金属	235

一、化肥	235
二、有机肥	237
三、有机-无机复混肥	239
第九节 污灌和污泥施用对蔬菜重金属的影响	239
一、污水灌溉	239
二、污泥施用	241
第十节 城市垃圾农用与蔬菜重金属	242
第十一节 蔬菜重金属的控制	243
一、污染源控制	243
二、营养环境中重金属含量的监控和污染修复	244
三、蔬菜品种选育	247
四、蔬菜生产合理布局	247
参考文献	247
第五章 土壤营养与蔬菜品质	258
第一节 蔬菜的土壤营养特性	258
一、土壤物理特性	258
二、土壤化学特性	262
三、土壤生物活性	273
四、土壤综合营养因素	276
第二节 酸化菜园土壤的蔬菜营养与品质	276
一、菜园土壤酸化现象	276
二、酸化菜园土壤养分限制因子	279
三、酸化菜园土壤施肥与蔬菜品质	280
第三节 盐渍菜园土壤的蔬菜营养与品质	281
一、蔬菜保护地产生土壤盐渍化的原因	281
二、盐渍菜园土壤中盐分的组成及分布	283
三、盐渍菜园土壤的营养特点	283
四、盐渍菜园土壤对蔬菜品质的影响	284
五、盐渍菜园土壤施肥对蔬菜品质的效应	285
六、盐渍菜园土壤的改良利用	287
第四节 污染土壤的蔬菜营养与品质	289
一、农药污染土壤的蔬菜生长与品质特点	289
二、塑料制品及其废弃物污染土壤的蔬菜生长与品质特点	290
三、工矿企业排放含有机物的“三废”污染土壤的蔬菜生长与品质特点	291
四、致病微生物污染土壤与蔬菜品质	293
五、污染土壤与优质蔬菜生产	293
参考文献	295
第六章 设施蔬菜营养与品质	300
第一节 设施栽培蔬菜的营养特性	300

一、蔬菜设施栽培的基本类型	300
二、液培蔬菜的营养特性	301
三、基质栽培蔬菜的营养特性	303
四、保护地栽培蔬菜的营养特性	304
第二节 液培蔬菜营养与品质	307
一、液培蔬菜的品质特性	307
二、不同营养液类型与蔬菜品质	308
三、不同蔬菜种类的品质变化特性	309
四、营养液管理技术与蔬菜品质	310
第三节 基质栽培蔬菜营养与品质	312
一、基质培蔬菜品质特性	312
二、基质种类与蔬菜品质	313
三、肥料运筹与蔬菜品质	314
四、基质培新型缓释/控释肥料与蔬菜品质	317
第四节 保护地栽培蔬菜营养与品质	318
一、保护地蔬菜品质特性	318
二、施肥技术与蔬菜品质	320
三、CO ₂ 与蔬菜品质	325
四、综合营养管理与蔬菜品质	326
参考文献	328
第七章 特用蔬菜营养与品质	333
第一节 微型蔬菜	333
一、微型蔬菜及其品质特征	333
二、优质微型蔬菜的营养调控	339
第二节 药用蔬菜	340
一、药用蔬菜及其品质特征	340
二、优质药用蔬菜的营养调控	340
三、药用蔬菜的品质与营养调控实例	341
第三节 野生蔬菜	342
一、野生蔬菜及其品质特征	342
二、野生蔬菜生长环境与品质	344
三、人工栽培野菜的营养调控	344
四、常见野菜人工栽培中的营养调控	346
第四节 特用蔬菜营养与品质研究展望	347
一、微型蔬菜营养环境与品质研究	347
二、药用蔬菜保健品质与营养条件的研究	347
三、优质野生蔬菜适生营养环境研究	347
四、加强多用（兼用）蔬菜的开发	348
参考文献	348

第八章 优质蔬菜的营养调控	349
第一节 优质蔬菜的发展概况	349
一、安全环保型蔬菜	349
二、名特蔬菜	363
第二节 优质蔬菜的营养环境调控	363
一、土壤调控	363
二、气候调控	369
三、水分调控	375
四、空气环境调控	377
五、各种环境因子的相互作用	377
第三节 优质蔬菜的施肥调控	377
一、氮、磷、钾优化组合	378
二、大量与中、微量元素组合	379
三、有机肥料与无机肥料配合	381
四、肥料与水分耦合调控	382
第四节 优质蔬菜的农业综合技术调控	383
一、不同蔬菜种类的营养管理策略	383
二、蔬菜栽培介质选择	385
三、肥料运筹技术	388
四、病虫害防治技术	393
五、灌溉技术	398
六、轮作技术	400
七、适时采收技术	401
第五节 重庆优质蔬菜的营养调控	402
一、茎瘤芥——榨菜	402
二、莴苣	408
三、芋头	430
四、甜椒	433
五、豇豆	439
第六节 优质蔬菜营养调控研究展望	447
一、优质蔬菜的土壤质量管理研究	447
二、优质蔬菜的综合营养管理理论与技术研究	447
三、优质蔬菜特殊品质的营养调控研究	448
四、优质蔬菜的新型肥料及施肥技术研究	449
参考文献	449

第一章 蔬菜营养基本原理

蔬菜含有丰富的维生素、矿物质、碳水化合物、蛋白质、纤维素等，是人类膳食的重要组成部分和每天不可缺少的生活必需品。中国是世界上最大的蔬菜生产国和消费国，截至 2004 年底，我国蔬菜播种面积和总产量分别达 1767km² 和 5.5 亿 t，播种面积约占我国农作物播种面积的 10%，播种面积和总产量分别占世界蔬菜种植总面积的 40.3% 和总产量的 66%，总产值超过 3100 亿元。2004 年和 2005 年，我国蔬菜出口总量均超过 600 万 t，仅次于西班牙、意大利、美国和荷兰，是世界第五大蔬菜出口国。为了适应国际市场对蔬菜质量的要求，生产过程中的水肥管理、植物保护以及采收、储藏、加工、运输和销售的安全性面临着更大的设施和技术方面的挑战。同时，随着绿色消费的兴起，人们对清洁安全的蔬菜产品，如安全营养型蔬菜、安全保健型蔬菜、安全健美型蔬菜，以及绿色食品蔬菜、有机蔬菜的呼声日益增强。蔬菜品质的现状与农业的可持续发展之间的矛盾也日渐突出。在蔬菜生产中，由于农药、化肥等化学合成物施用不当，或施用高毒、高残留农药，造成的蔬菜 and 环境污染，甚至人畜中毒和死亡事件时有发生。因此，21 世纪蔬菜品质的管理，已成为蔬菜科技工作者必须思考的重要问题。作为蔬菜生产重要环节之一的养分调控，由于与众多蔬菜品质问题有着直接或间接的联系，其在解决蔬菜品质相关问题中将起着重要作用。

第一节 蔬菜需要的营养物质及其作用

蔬菜是高度集约栽培的作物，复种指数高，需要肥沃的土壤（山岛田永生，1982；朱国鹏等，2001；赵冰，2003；张振贤和于贤昌，1996）。同时，蔬菜生长期间较短，尤其是叶类蔬菜，需在短期间充分吸收营养物质，形成产量品质。蔬菜作物在生长发育过程中，除了需要二氧化碳和水以外，还要不断地从外界环境中吸收各种矿质营养和部分有机养分。所以，介质（或环境）中养分的供应水平是蔬菜生长乃至品质形成的重要物质基础之一。在蔬菜作物增产中，增产量的 50% 来自施用肥料，科学合理的施肥是商品蔬菜生产现代化要研究的重要内容，而平衡营养调控则在蔬菜优质高产栽培中发挥着极大的作用（张振贤和于贤昌，1996；白纲义等，1999；刘宜生，2001）。

一、必需营养元素

蔬菜在其生长发育过程中，除了需要一定的光照、水分、空气和热量外，还必须不断地从外界吸收所需要的各种营养元素进行同化作用，以维持其生命活动。到目前为止，人们已发现蔬菜从环境中吸收到体内的化学元素有 70 多种。这些进入蔬菜体内的各种化学元素并非都是蔬菜生长必需的，有些元素可能是偶然进入植物体内的，它们在蔬菜体内的含量变化较大，有的元素在特定条件下还能大量积累；相反，有些元素在蔬菜体内的含量甚微，然而它们都是蔬菜生长发育不可缺少的营养元素。迄今已发现和确

定的蔬菜必需营养元素有 17 种，它们是碳、氢、氧、氮、磷、钾、钙、镁、硫、铁、氯、锰、锌、铜、钼、硼和镍。这些必需营养元素在蔬菜体内的含量相差很大，一般根据它们在蔬菜体内含量的多少划分为大量营养元素和微量元素两类，其中碳、氢、氧、氮、磷、钾、钙、镁和硫是大量营养元素，它们是蔬菜需要量较多的营养元素，一般占蔬菜干重的百分之几到千分之几（表 1-1）。前三种元素主要从空气和水中吸收，后六种主要来自于土壤和施用的肥料（其中氮素可由豆科蔬菜从空气中固氮获得）。微量元素的含量占植物干重的万分之几，甚至更少，铁、硼、锰、铜、锌、钼、氯和镍属于微量元素。

表 1-1 几种蔬菜作物叶片中必需营养元素的含量（Lorenz and Maynard, 1980）

蔬菜种类	总氮/%	硝态氮/%	磷/%	钾/%	钙/%	镁/%	硫/%
番茄	3.0~5.0	1.2~1.5	0.4~0.8	4.0~8.0	1.5~4.0	0.4~1.0	1.0~3.0
黄瓜	2.5~5.0	0.8~1.8	0.5~1.0	3.0~6.0	2.0~8.0	0.4~0.8	0.4~0.8
莴苣	2.1~5.6	2.5~9.3	0.5~0.9	4.0~10.0	0.9~2.0	0.4~0.8	0.2~0.5
蔬菜种类	硼/(mg/kg)	铁/(mg/kg)	锰/(mg/kg)	铜/(mg/kg)	锌/(mg/kg)	钼/(mg/kg)	
番茄	20~60	50~150	25~50	4~6	15~25	1~5	
黄瓜	40~60	90~150	50~150	4~10	40~50	1~3	
莴苣	25~65	50~500	25~200	5~18	30~200	0.5~3	

（一）氮（N）

1. 氮素的基本营养作用

氮（nitrogen）为植物营养三要素之首，在植物的生长发育过程中起着十分关键的作用。氮是蔬菜生命活动中的必需营养元素，其作用主要体现在 4 个方面：①氮是蛋白质、氨基酸、核酸及其他植物生长发育所必需的重要有机氮化合物的主要成分，而这些物质是活细胞赖以生存的结构或功能成分，因此常称氮为生命元素（武维华，2005）。②氮是植物体内许多酶的重要组成部分，植物体内许多生物化学反应的方向和速度都是由酶系统控制的，氮素的供应状况关系到植物体内各种物质及能量的转化过程（陆景陵，1994）。③氮是叶绿素的组成元素，与光合作用有密切关系（廖红等，2003）。④氮还是某些植物激素（如生长素和细胞分裂素）、维生素（如维生素 B₁、维生素 B₂、维生素 B₆、维生素 PP 等）分子结构的成分，它们对生命活动起调节作用（武维华，2005）。因此，在一定范围内，随着外界氮素供应量的增加，蔬菜产量会相应提高（张振贤和于贤昌，1996），充足的氮素供应常常是获得蔬菜作物高产的保证。同时，科学地调控蔬菜氮素营养对于提高产品中维生素 C、有机酸、可溶性固形物、蛋白质等主要营养成分的含量也有显著作用（庄舜尧和孙秀廷，1995）。

2. 氮素供应量与蔬菜营养

研究显示，蔬菜产量并非总是随着氮素供应量的增加而提高的，过多的氮素供应易造成植株的奢侈吸收，反而降低增产效应，甚至导致蔬菜减产和品质降低，尤其是导致硝酸盐含量的增加。氮肥的施用量与叶类蔬菜体内的硝酸盐含量呈显著或极显著正相

关, 偏施或滥用氮肥是造成蔬菜品质劣化的重要原因 (庄舜尧和孙秀廷, 1995; 任祖淦等, 1997; 陶正平等, 2001; 陈清等, 2005; 武鹏鸣等, 2006)。施氮肥达到一定量后, 黄瓜产量并不随施肥量的增加再增加, 而果实中的硝酸盐含量与施肥量几乎呈正比 (刘明池等, 1996)。营养液供氮水平过高或在田间大量施用氮肥常导致菠菜体内积累高量的硝酸盐和草酸, 氮素营养是影响菠菜生长以及硝酸盐和草酸积累的一个重要因素 (张英鹏等, 2004)。施氮肥对蔬菜硝酸盐、亚硝酸盐的积累有明显影响, 施用氮肥会在一定程度上促使蔬菜体内亚硝酸盐的积累, 施用硝态氮肥和非硝态氮肥均可促进蔬菜体内硝酸盐的积累, 同一种氮肥的施用量与蔬菜体内硝酸盐的积累有一定的正相关关系 (武鹏鸣等, 2006)。陈宝明 (2006) 研究了当年施肥量对作物硝态氮累积及土壤无机氮残留量的影响, 发现施氮量与土壤硝态氮残留量之间呈显著正相关关系, 显然施氮量越高土壤中硝态氮的残余就越大, 在下季 (茬) 蔬菜栽培时施氮肥量就应减少, 既节约氮肥资源又保证蔬菜的产量和品质不受影响。

3. 氮素形态与蔬菜营养

蔬菜生长发育、产量和品质的形成除受生长环境中氮素数量的影响外, 还与外源氮素形态有十分密切的关系。研究表明, 植物生长发育过程中主要吸收两种矿质氮源: 铵态氮 (NH_4^+-N) 和硝态氮 (NO_3^--N) (池田等, 1983; 孙羲, 1980; 何念祖, 1987; 李生秀, 1990; 张春兰等, 1990; 杜猛军等, 1992)。一般认为, NO_3^--N 的吸收是逆电化学势梯度进行的主动过程, 而 NH_4^+-N 是与 H^+ 进行交换而被吸收的。 NH_4^+ 与 NO_3^- 进入到植物体后, NO_3^--N 须先还原成 NH_4^+-N , 之后的同化过程二者完全相同。尽管不同植物种类对氮素形态有不同的偏好, 但是许多植物在单独供应铵态氮时, 铵离子均会对其产生一定的毒害作用。李生秀等 (1990) 的研究表明, 不同形态的氮素对蔬菜的生长和生理代谢活动及蔬菜硝酸盐含量具有极大影响, 这种差异是由介质中铵态氮与硝态氮的比例造成的。当硝态氮作氮源时, 蔬菜生长良好, 而铵态氮作氮源时, 则蔬菜的生长常常会受到抑制。铵态氮使用过多时, 可使根际 pH 严重降低而影响根系正常生理代谢, 或是破坏叶绿体结构和叶片的正常生理功能, 造成叶片易于萎蔫、光合强度下降等。张英鹏 (2005) 研究氮素形态对菠菜卫生品质 (硝酸盐及草酸含量) 的影响时发现, 单独供铵时菠菜生长明显受抑, 植株矮小, 其生物量显著低于其他处理, 当铵硝比为 25 : 75 及 50 : 50 时, 菠菜的生物量最高。这可能是由于硝态氮和铵态氮联合供应时, 一方面促进了细胞分裂素的合成, 一方面降低了吸收和还原硝态氮的能量消耗, 并且吸收硝态氮时产生的根际碱化抵消了吸收铵态氮产生的酸化, 从而有利于菠菜的生长。营养液中的铵态氮与硝态氮比例为 25 : 75 或 50 : 50 时, 不仅可以获得较高的菠菜产量, 而且可以显著降低菠菜体内各器官的草酸总量和可溶态草酸含量, 从而提高菠菜本身和其他食物所含矿质元素的生物有效性, 并且降低人体患泌尿系结石的风险。汪建飞等 (2007) 通过水培试验, 研究了等氮条件下 5 种不同铵硝比对菠菜生长和品质的影响, 结果表明, 从铵硝比 100 : 0 到 0 : 100, 菠菜地上部鲜重不断增加, 铵硝比为 0 : 100 时, 菠菜的鲜重达最大值; 但经铵硝比 25 : 75 和 0 : 100 两个处理的菠菜的干物重没有显著差异 ($P < 0.05$); 随着铵硝比的降低, 菠菜茎叶中硝酸盐、亚硝酸盐的含量均表现为线性增加; 菠菜茎叶中可溶性草酸的含量和营养液的铵硝比呈二次曲线相关, 在铵硝比为 25 : 75 时, 菠菜茎叶中草酸含量最低; 适当增施铵态氮有利于降低菠菜硝

酸盐、亚硝酸盐及草酸的含量；增铵可以提高菠菜维生素 C 的含量，铵硝比为 50 : 50 时菠菜维生素 C 含量最高；随着铵硝比的下降，菠菜茎叶中可溶性糖的含量逐渐降低，而粗蛋白的含量则以铵硝比 25 : 75 处理最高。研究不同铵硝比条件下菠菜有机酸和淀粉含量的变化，发现随着铵硝比的下降，菠菜茎叶中的丙酮酸、柠檬酸、 α -酮戊二酸、琥珀酸、延胡索酸、苹果酸 6 种有机酸的含量以及淀粉含量均呈上升趋势，有机酸含量与营养液初始硝态氮浓度呈显著线性正相关；随着营养液中硝态氮比例的增加，菠菜茎叶和根系中的有机酸代谢均表现为增强的趋势（汪建飞等，2008）。铵态氮肥和硝态氮肥的比例越小，蔬菜体内的硝态氮含量越高（庄舜尧和孙秀廷，1995）。酰胺态氮（尿素）作氮源也常表现出与铵态氮相似的作用。大田试验的结果表明，氯化铵和硫酸铵处理，空心菜累积硝酸盐最低，均值分别为 466.7mg/kg 和 515.0mg/kg；然后尿素、碳酸氢铵、硝酸铵依次递增；复合肥和专用肥的硝酸盐累积量最大，分别达 863.7mg/kg 和 875.0mg/kg（任祖淦等，1997）。对油菜施用尿素、硫酸铵、硝酸铵和碳酸铵四种氮肥的试验结果表明，按 NO_3^- 含量高低序列，油菜叶片的 NO_3^- 含量为尿素 > 碳酸铵 > 硝酸铵 > 硫酸铵；叶柄为尿素 > 硝酸铵 > 硫酸铵 > 碳酸铵（章家骥，1987）。氮素形态不仅影响蔬菜体内硝酸盐（或卫生品质）的含量，对其他植物也有类似的作用。如在砂培试验中发现，供应尿素和铵态氮时，狗尾草（*Setaria sphacelata*）的草酸含量比供应硝态氮时低得多（Roughan and Warrington, 1976）；用氯化铵和硝酸铵处理的猕猴桃草酸含量要比用硝酸钙和硝酸钾处理的低得多（Rinallo and Modi, 2002）。

4. 有机态氮与蔬菜营养

自李比希 1840 年创立矿质营养学说以来，人们一直认为植物只吸收无机态氮而不能吸收有机态氮。然而，随着研究手段的改进和研究内容的不断深入，越来越多的证据表明植物也能吸收有机态氮，特别是氨基酸。20 世纪 90 年代以来，已有严密的无菌培养试验结果证明作物能吸收利用如氨基酸等有机氮。植物细胞能通过质膜上的特异性载体蛋白主动吸收氨基酸，该载体为质子耦合运输蛋白或称质子耦合共运输，它是由质膜 H^+ -ATPase 催化产生的 H^+ 电化学势梯度推动进行的。Bush 和 Langston-Unkefer 在 1988 年给密生西葫芦（zucchini）的纯化质膜囊泡加上质子电化学势，首次描述了高等植物细胞的质子耦合氨基酸运输，之后，Li 和 Bush(1990) 研究了纯化的甜菜叶质膜囊泡，发现氨基酸运输的根本动力是电产生的，由 H^+ 和膜电势（ $\Delta\phi$ ）驱动，质膜上至少有四种氨基酸转运子。研究以甘氨酸和甘氨酸、异亮氨酸、脯氨酸组成的混合氨基酸以及 13 种氨基酸（不包括谷氨酸和谷氨酰胺）部分取代水培液中的硝酸盐对蔬菜品质的影响，结果表明，氨基酸可以降低蔬菜硝酸盐的含量（Gunes et al., 1996）；采用谷氨酸和谷氨酰胺对降低大豆、玉米幼苗等对硝酸盐的吸收可能比其他氨基酸更有效（Muller and Touraine, 1992）。采用水培试验研究了氨基酸和硫酸铵部分取代硝态氮对小白菜硝酸盐含量及营养品质的影响，结果也显示，氨基酸和硫酸铵部分取代硝态氮可降低小白菜可食部分的硝酸盐含量，以氨基酸效果更好，依次为谷氨酸 > 谷氨酰胺 > 谷氨酸 + 谷氨酰胺（王华静等，2004）。

5. 氮素形态与蔬菜品质元素的关系

由于不同形态氮素的配比和供应量直接影响蔬菜体内有机酸的含量和生长介质的 pH，进而影响其他品质元素的吸收及转化。蔬菜作物过多吸收 NH_4^+ -N，会产生由

NH_3 引起的生育障碍,并抑制钾、钙、镁的吸收,导致生长不良 (Vaast, 1998)。氮素形态影响蔬菜作物吸收钾、钙、镁,主要有以下两方面的原因:①蔬菜作物吸收 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 后引起根际 pH 的变化,从而影响钾、钙、镁的吸收。 NO_3^--N 为氮源时,蔬菜作物吸收钾、钙、镁的数量高于以 NH_4^+-N 为氮源。弱酸条件有利于蔬菜作物对磷的吸收,过酸过碱都会影响其吸收。② NH_4^+ 与钾的竞争作用,对钙、镁的拮抗作用也显著降低了蔬菜作物对钾、钙、镁的吸收量。 NH_4^+-N 可明显提高蔬菜作物新叶中铁或活性铁的含量,提高其利用效率,如营养液中 NO_3^--N 比例增高时,莴苣根铁浓度增加,茎叶铁浓度却降低;营养液中 NO_3^--N 的比例增加,莴苣根、茎、叶的锌浓度都增高。氮素形态配比不同,营养液 pH 也不同,但提高磷水平使莴苣根的锌、铁浓度均增高,茎叶的锌浓度降低,铁浓度增高 (张树清和王艳玲, 2001)。而 NO_3^--N 则起相反的作用, NH_4^+-N 可抑制蔬菜作物对锌、锰的吸收,而 NO_3^--N 则可促进蔬菜作物对锌、锰的吸收 (曹翠玲和李生秀, 2004)。蔬菜作物对铜的吸收量主要受蔬菜作物本身的特性和需求、铜供应状况以及其他阳离子的影响,氮素形态对其吸收的影响不显著 (吴震等, 2001)。

6. 氮素营养与果菜品质

氮素营养水平不仅对叶类蔬菜的产量和品质有很大的影响,而且也十分明显地制约着果类蔬菜的品质 (秦松和王正银, 2006)。氮肥能使线辣椒、番茄果实的维生素 C 含量分别增加 13.6% 和 25.6% (张继仁, 1989; Chetelat et al., 1995; 杜永臣和严准, 1999), 增加氮用量, 番茄还原态维生素 C 及总维生素 C 的含量分别提高 8.0% 和 16.3% (邹学校, 1993)。但甜椒、番茄果实维生素 C 含量随氮肥用量的增加而减少 (张伟春, 2002; 须海丽, 2004)。不同形态的氮素对蔬菜维生素 C 含量的影响不同,与硝态氮相比,铵态氮会明显降低蔬菜维生素 C 含量 (Woodhouse and Hardwick, 1980)。基质盆栽番茄果实的维生素 C 含量随着 NH_4^+-N 和 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2-\text{N}$ 比例的增加而增加 (Sorensen, 1993; 胡承孝和邓波儿, 1997)。施用控释氮肥的番茄,其果实维生素 C 含量显著高于传统施氮方式的处理,增加 12.5%。可能是因为传统分次施用尿素引起番茄在各生育期吸氮的比例、同一生育期 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 的吸收比例不尽合理,氮的生理效率不高,导致了番茄质量的下降 (赵护兵等, 2003; Sharma et al., 1971)。同时,辣椒维生素 C 含量有随控释氮肥施用量增加而增加的趋势 (初厚莉, 1989; Mengel, 1999)。甜椒中各种还原糖的含量随施氮水平的提高均有所下降; NO_3^--N 用量较大时,水溶性糖含量较低, NH_4^+-N 用量较高时,水溶性糖含量较高 (张春兰等, 1990)。茄果类蔬菜果实富集 NO_3^--N 的能力弱,果实中 NO_3^- 含量均不超过可生食标准。番茄果实中 NO_3^--N 含量较为稳定,氮肥品种的影响甚小 (庄舜尧和孙秀廷, 1997)。但基质盆栽的樱桃番茄,其果实硝酸盐含量受氮素形态及配比的影响很大,全 NO_3^--N 的处理含量最高,而随着营养液中 NH_4^+-N 和 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2-\text{N}$ 浓度的增加,果实中硝酸盐的积累量相应降低 (Sorensen, 1993)。氮肥对茄果类蔬菜的风味品质也产生明显作用。辣椒素含量随施氮量增加而增加,主要原因是辣椒素为含氮化合物,氮水平的提高能增强氮素的代谢,对辣椒素的合成有利 (Ali et al., 1991; 刘秀珍和李明山, 1994)。氮肥对果菜的外观品质也有影响。基质栽培条件下, NH_4^+-N 和