

蔬菜硝酸盐研究概况和展望

郭静利¹, 张洁瑕^{2,3}

(1. 中国农业科学院 农业经济与发展研究所, 北京 100081; 2. 农业部资源遥感与数据农业重点开放实验室, 北京 100081;

3. 中国农业科学院 农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘要:对近年来国内外围绕蔬菜硝酸盐所展开的研究进行了综述,从蔬菜硝酸盐限量指标、累积实质、影响因子(包括内在因子如蔬菜种类和品种、肥料种类和用量和外在因子如蔬菜生长的环境条件)等方面概述了蔬菜中硝酸盐积累的研究状况,并指出了目前研究中存在的问题。最后对今后的研究提出了一些建议。

关键词:蔬菜;硝酸盐;累积;因素;控制

中图分类号:S 606⁺.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2011)11-0183-06

1 蔬菜硝酸盐污染研究概况

早在 1907 年, Richard 就提出蔬菜中含有大量的硝酸盐^[1]。美国研究者 White 指出, 人体摄入硝酸盐 81.2% 来自蔬菜^[1]。硝酸盐对人畜的潜伏性危害体现在体内还原成亚硝酸盐而引起人体生理相应病变过程。亚硝酸盐危害有二: 第一造成高铁血红源症; 第二与次级胺结合生成强致癌物亚硝胺, 诱发消化系统癌变。因此, 人们对亚硝酸盐的摄入量做了规定, 世界普遍执行的是 1973 年 WHO/FAO 的 ADI 标准。自 20 世纪 60 年代以来, 国内外开始了关于蔬菜硝酸盐污染的研究。

我国对蔬菜硝酸盐研究, 源起于沈明珠 1979~1984 年对北京蔬菜硝酸盐、亚硝酸盐含量及影响因素所做的调查, 随后全国开始行动。据 1985~1988 年对全国 13 个

大中城市共计 273 个蔬菜样品调查分析: 北京、天津、上海、福州硝酸盐最为严重, 其它城市也不容忽视^[2], 例如扬州市^[3]、湖南省^[4]等, 同时因蔬菜种植地下水的污染也很严重^[5-6]。从此我国开始系统研究蔬菜硝酸盐的生理机制、造成累积的内外因子及防控措施。先后有不少关于该方面的学术论文、综述, 并且许多方面的观点基本一致。概括起来有四大方面: 硝酸盐限量指标、硝酸盐累积生理机制、影响因素、防治措施等。

1.1 蔬菜硝酸盐限量指标

1973 年, WHO/FAO 规定, 亚硝酸盐的 ADI 为 0.13 mg/kg 体重。以体重 60 kg 计, ADI 为 7.8 mg。蔬菜中亚硝酸含量多在 1 mg/kg 以下。因为亚硝酸盐酶活性远高于硝酸盐酶活性, 所以不易在植物体内造成累积现象, 而当蔬菜累积较多硝酸盐就可能间接增加亚硝酸盐在人体内的含量从而造成危害。

对于蔬菜硝酸盐的评价标准, 我国最初研究并得到广泛应用的是沈明珠等^[7]根据 WHO/FHO 关于硝酸盐 ADI 的标准: 3.6 mg/kg, 人均体重按 60 kg 计, 而相应的

第一作者简介:郭静利(1968-), 男, 河北石家庄人, 博士, 助理研究员, 现主要从事农业经济研究工作。

责任作者:张北试区国家及省“十五”科技攻关课题资助项目(01220930D)。

收稿日期:2011-03-28

Research Progress on the Phenolic Compounds in Red Raspberry

WANG Hai-ming, LIU Shu-ying, LIU Hong-zhang

(College of Life Science, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118)

Abstract: The anthocyanins, flavonoides and ellagitannins(ellagic acid) from red raspberry were introduced. The current situation of extraction, purification, properties, functional activity and product development of three phenolic compounds at home and abroad were discussed, prospect of three phenolic compounds in red raspberry prospects for future research were imagined.

Key words: red raspberry; phenolic compounds; anthocyanins; flavonoides; ellagitannins

蔬菜中的则为 432 mg/kg, 结合饮食方式而制定的。其据蔬菜硝酸盐含量可能造成的中毒轻重分为 4 级, 分别为 < 432 mg/kg、< 785 mg/kg、< 1 440 mg/kg、< 3 100 mg/kg, 并提出了相应的食用方法^[1]。另外, 蒋德福也制定了该方面标准, 将沈明珠的限量标准降低。其中第 4 级改为 $\leq 2\ 511$ mg/kg (沈为 $\leq 3\ 100$ mg/kg)^[1]。后国家质量监督检验检疫总局在《农产品安全质量—无公害蔬菜安全要求》中发布了无公害蔬菜的重金属及有害物质限量, 其中亚硝酸盐 (NaNO_2) ≤ 4.0 mg/kg; 硝酸盐: 瓜果类 ≤ 600 mg/kg, 根茎类 $\leq 1\ 200$ mg/kg, 叶菜类 $\leq 3\ 000$ mg/kg。2003 年 4 月, 国家环境保护总局有机产品认证中心发布了《OFDC 有机认证标准》, 规定蔬菜中亚硝酸盐限量指标为 (以 NaNO_2 计) 4.0 mg/kg; 农业部中国绿色食品发展中心发布的《绿色食品》茄果类蔬菜 (NY/T655-2002) 中规定亚硝酸盐的卫生标准为 ≤ 2 mg/kg^[8]。

1.2 蔬菜硝酸盐累积实质

硝酸盐在一定程度上积累是植物正常的生理需要。 NO_3^- 通过高亲和吸收转运系统和低亲和吸收转运系统被蔬菜吸收, 在钼、锰、铁、铜、硫、磷等多种必需营养元素参与下被还原同化^[9]。根系主动吸收硝酸盐, 除一部分在代谢库内还原为氨基酸、蛋白质外, 大多则贮存在液泡中, 以备应急之需。如弱光下, 硝酸盐作为渗透物质, 促使碳水化合物累积, 帮助植物生长。另外, 在液泡中, 硝酸盐还可起到平衡电荷的作用。

植物累积硝酸盐, 从生理角度来说, 是吸收和还原不平衡所造成的; 是吸收多少、转移的快慢以及还原能力强弱在整个生理过程中的最终体现; 是植物吸收硝酸盐量大于还原同化量所造成的, 这是造成硝酸盐累积的根本原因^[10-11]。植物体内硝酸盐还原同化过程: 硝酸盐 \rightarrow 亚硝酸盐 \rightarrow 铵离子 \rightarrow 蛋白质、氨基酸。这是硝酸盐代谢的生化过程, 凡是影响这一过程顺利进行的任何因素, 都可能造成硝酸盐累积现象, 尤其是影响硝酸还原酶的因素。因为硝酸还原酶是整个同化过程的限速酶, 如硝酸还原酶活性强的小白菜较硝酸还原酶活性低的生菜、芹菜累积硝酸盐的量少^[12]。近来许多研究开始致力于 NO_3^- -N 吸收动力学的研究, 并从分子角度展开对 NO_3^- -N 吸收和还原的影响。肖炎波等^[13]认为 NO_3^- -N 的还原主要由 NO_3^- -N 的吸收速率控制, NR 活性和还原力处于次要地位。狄廷均等^[14]认为硝酸盐在叶柄与叶片中的积累差异与其液泡膜上的质子泵活性大小密切相关。

1.3 影响因子

关于蔬菜硝酸盐积累的研究, 许多专家学者基本上都是围绕蔬菜硝酸盐累积机制展开, 就各种可能影响的内外因子, 即农业生态因素^[15]方面做了大量的研究工

作, 并在许多方面已达成了共识^[16-19]。

1.3.1 内部因子 蔬菜的种类: 综合王少先、沈明珠等许多中外专家学者的研究成果, 普遍认为, 以根、茎、叶营养器官供食用的菜类均属高富集型, 其含量多在 1 000 mg/kg 以上; 以果实供食用的菜类属于低富集型, 在 1 000 mg/kg 以下^[19-20]。一般蔬菜积累硝酸盐顺序: 根菜类 > 薯芋类 > 绿叶菜类 > 白菜类 > 葱蒜类 > 豆类 > 茄果类 > 多年生菜类 > 食用菌类^[20]。同一品种差异: 如不同品种菠菜食用部分硝酸盐不同, 叶面光滑、叶色偏淡的相比之下比较低^[21-22]。陶正平研究发现不同大白菜品种之间硝酸盐含量差异达到极显著, 最高和最低者相差 2 倍以上, 硝酸还原酶的活性同硝酸盐含量相关性达到显著负相关, 但是也有硝酸盐含量低, 同时硝酸还原酶活性也低的品种, 通过分析认为, 可以通过育种途径培育出硝酸盐低积累量的品种。同一植株不同部位: 一般规律是根、茎较高, 叶花部较低, 并且叶柄大于叶片, 外叶大于内叶; 同一器官不同部分: 如茎下部大于茎上部; 根部以细根最多; 茄科葫芦科硝酸盐在果梗中才检出^[20, 23]。不同生长阶段: 一般来说植株硝酸盐含量随株龄的增加而减少, 因而适时晚收比较好; 旺盛生长期积累量多于生殖生长期, 如盆栽青菜随生育期的进程硝酸盐由 6 240 mg/kg \rightarrow 5 175 mg/kg \rightarrow 4 863 mg/kg^[24-25]。总之, 以上因子造成硝酸盐累积的差异主要受遗传因子控制, 是它们对生态因子变化的不同反应以及生物学不同特性所致^[8]。同一植株不同部位硝酸盐累积量差异是由于硝酸盐在各个部位的不同生理机制造成的, 如在根中吸收, 在叶中还原。另外, 因叶中含有光合作用的器官叶绿素, 在光合作用的推动下, 硝酸盐迅速还原成亚硝酸盐; 而根无叶绿素, 只靠呼吸作用产生还原功能^[16, 26-27]。减少是由于根系吸收硝酸盐能力减弱, 同时植株体积增大而具有稀释作用造成的。

1.3.2 外部因子 光照: 硝酸盐还原酶活性受光强度调节, 提高光强度, 延长光照时间, 可降低蔬菜中硝酸盐含量。一般光照充足的条件下, 植株生长量加大, 株体内硝酸盐降低; 而在遮光条件下则相反, 如菠菜在 8:00 和 16:00 采收, 硝酸盐分别为 549、282 mg/kg (占鲜重)^[28]。光是重要的环境生态因子, 通过调节硝酸盐的吸收, 基因表达和硝酸盐还原来调节 N 代谢。光照强度、光照持续时间、光周期均影响硝酸盐累积^[29-31]。温度: 温度与根吸收硝酸盐的速度、光、土壤水分等存在相互作用, 从而影响硝酸盐的吸收。适温范围内, 生长速度加快, 根系吸收硝酸盐速度也加快; 反之减弱。同时硝酸盐酶活性也因温度降低而减弱, 以致于累积硝酸盐^[32-33]。水分: 植物体内硝酸盐酶活性比硝酸盐吸收更易受到水分胁迫。干旱通常导致硝酸盐累积。缺水条件下, 马铃薯中硝酸盐含量是灌水条件下的 3 倍, 灌水可使植物体内

硝酸盐积累浓度稀释而降低,因此收获前灌溉可降低农产品中硝酸盐累积^[34-35]。王朝辉等^[13]研究发现,土壤水分的增加促进了蔬菜硝酸盐吸收和转移的同时,也促进了蔬菜的生长,但却降低了硝酸盐酶活性。并指出土壤水分引起蔬菜硝酸盐降低的主要原因是生长超前引起养分稀释效应造成的,收获前几天进行灌水可使农作物硝酸盐含量降低。施肥:蔬菜是喜硝作物,含有大量的营养元素,其需肥量非常大,这必然会造成作物营养与有害富集之间的矛盾。因而引起人们关注,概括如下。氮肥:一般认为氮肥与蔬菜硝酸盐含量呈正相关^[30,36-37]。也有研究指出,氮肥用量超过一定程度后,蔬菜硝酸盐积累渐趋平稳^[38]。关于氮肥的用量、氮肥品种、氮肥施用方法、基肥与追肥之比、氮肥的使用技术(撒施与条施)及硝化抑制剂的使用、硝酸盐与铵态氮的比例等^[39],均有大量的研究报道,其中高强等^[40]研究认为,尿素+硝化抑制剂或者尿素+硝化抑制剂+有机无机复混肥均能降低油菜硝酸盐的含量。氮肥用量问题:过量施用是造成硝酸盐累积的直接原因^[32,41-42]。顺序一般是硝酸铵>硫酸铵>尿素>碳酸氢铵>氯化铵>对照^[1,30,43]。品种对硝酸盐累积无多大影响。还有人认为同一植株不同部位硝酸盐累积量也不同^[44]。使用方法:条施,硝化抑制剂的使用,“攻头控尾”、基肥量>追肥量等均有利于降低蔬菜硝酸盐含量^[45]。盐与铵态氮的比例:田霄鸿认为 $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+ = 70/30$ 可以增加产量也可以提高品质^[46];认为用铵态氮代替部分硝酸盐有利于降低硝酸盐的积累^[47]。磷肥:磷是许多有机化合物的组成部分,以多种形式参与生化过程,对作物氮的吸收,转运及还原同化起着重要的作用。周根娣等^[48]认为在等氮量条件下,增施磷肥有降低蔬菜硝酸盐的作用。王朝辉等^[49]认为根对磷肥敏感,磷对氮代谢具有双重性。同一种蔬菜,高祖明等^[11]认为缺磷比增氮更易引起蔬菜硝酸盐的积累。氮用量及氮磷比影响稀释效应,从而影响硝酸盐累积。而原苏联学者却认为,尽管土壤缺磷是生长限制因子,但没有发现硝酸盐与磷有显著关系^[29]。钾肥:钾离子可提高植株硝酸盐酶活性,降低硝酸盐含量,与硝酸盐含量呈极显著负相关^[29,41]。由于氯离子可以减缓硝化作用速率,从而相对减少硝酸盐含量,所以有人认为KCl优于 K_2SO_4 ^[37],但氯离子浓度大于300 mg/kg时会对蔬菜有毒害作用^[30]。也有一些人认为,在增产提高品质方面硫酸钾优于氯化钾^[50-52],但对商品价值不大蔬菜,其产投比低于氯化钾^[53]。微量元素:由于许多微量元素如钼、锌等均是硝酸盐同化过程酶的激活剂,所以在缺少该类元素的同时,施用它们均可降低硝酸盐积累的效果^[54-58]。余光辉等^[59]于2002和2003年在湖南长沙地区研究了红菜园土和冲积菜园土条件下喷施稀土肥、铜肥、钼肥、锌肥、锰肥和硼肥对小白菜硝酸盐和亚

硝酸盐含量及其它品质的影响。结果表明,喷施钼肥和锰肥能显著降低小白菜硝酸盐含量,也显著增强了硝酸盐还原酶的活性;李淑仪等^[60]小白菜对施用的各种中量、微量元素在不同质地的土壤上有不同的响应;在合理施氮、磷、钾肥的基础上,有选择性地适量施用中量、微量元素,不仅可提高蔬菜的产量,而且可降低其体内硝酸盐的含量。有机肥:又称农家肥,含有蔬菜需要的大量元素和微量元素,其具有矿化速度慢,硝酸盐含量不多的优点而被许多研究所关注,研究表明其在实现蔬菜作物优质、高产方面具有显著的作用^[45,61-62],适宜的有机氮肥与无机氮肥配合施用可明显提高肥料利用率,减少氮素积累,并保持土壤高持续供氮能力^[63]。这也是有机农业迅速发展的主要原因。但也有研究表明,在等量氮肥基础上,增施有机肥也会使硝酸盐含量增高,这取决于有机肥的特点^[64]。蒋卫杰等^[65]在露地和大棚条件下研究了5种不同有机肥对生菜硝酸盐积累的影响。结果表明,无论露地和大棚,不同有机肥对生菜单球质量和硝酸盐积累的影响都达极显著水平,施用牛粪和生物发酵鸡粪种植的生菜硝酸盐含量较低,豆粕、猪粪则使生菜硝酸盐含量显著升高。同一种有机肥前处理方法不同,对生菜硝酸盐含量的影响也不同,生物发酵鸡粪的处理硝酸盐含量低于膨化消毒鸡粪的处理。露地和大棚试验中均以处理1(牛粪)最好,能显著提高生菜单球质量和降低生菜硝酸盐含量。有机无机混施。秦鱼生等^[66]认为并非有机肥生产出来的蔬菜其硝酸盐含量就一定低于化肥。无论是有机肥还是化肥,合理施用都能生产出硝酸盐含量很低的蔬菜产品。有机肥和化肥的合理配合施用,既能提高蔬菜的产量,又能降低蔬菜的硝酸盐。张杨珠等^[67]研究认为,有机肥与化肥合理配施可以明显降低小白菜硝酸盐含量,减少硝酸盐在土壤剖面中向下淋溶,达到蔬菜高产优质,生态环境清洁健康的目标。微生物肥料:许多研究表明,一些微生物肥料如绿右、EM肥等生物菌肥可使土壤微生物活性增强,加速土壤硝酸盐的同化率,经作物吸收后转变为有机物,从而有助于蔬菜体内硝酸盐的降低^[68-70]。多元复合肥:因含多种营养元素,各元素之间并有一定的比例,从而有利于蔬菜生长发育,并促使蔬菜对硝酸盐的吸收和转化^[71-72]。另外,许多研究还意识到蔬菜生产中平衡施肥的必要性和重要性,合理的元素配比,如氮磷比、氮钾比、氮硫比、硝酸盐与氯离子的比等均是实现局部平衡施肥的举措,并且实践证明确实有效,尤其是针对某种缺乏素土壤^[73-75]。蔬菜的加工、储藏技术等也有利于降低硝酸盐在蔬菜体内的含量^[76],这也是沈明珠制定硝酸盐限量标准的依据之一。许超等采用田间施药方法,研究了硝化抑制剂对冰箱贮藏条件下小青菜可食用部分硝酸盐、维生素C含量变化的影响。表明无论施用与

否,小青菜硝酸盐含量均呈现先降低后略有升高的趋势,建议蔬菜储藏时间不能太长,以不超过4d为宜。徐亚平等研究不同的贮存方法和贮存时间对蔬菜中硝酸盐和亚硝酸盐含量的影响,认为采用冷藏方法贮存,硝酸盐含量明显增大,亚硝酸盐含量明显减少,而冷冻方法硝酸盐和亚硝酸盐含量变化不大。

1.3.3 水肥双因子效应研究 国内外单独研究蔬菜施肥和灌水技术较多,但将水肥结合起来研究较少,于红梅等^[77]从水氮二因子的角度进行蔬菜硝酸盐积累研究,指出菠菜中硝酸盐含量主要受土壤的供氮量的影响,其次是土壤含水量,并认为降低土壤供氮量的同时适当降低土壤含水量,是提高水分利用效率和蔬菜品质的有效方法之一。但该研究只是简单的就水氮二因子结合设置几个处理去研究蔬菜硝酸盐及其生长问题,方法过于简单,不能综合分析水肥耦合的产量效应和硝酸盐效应。为此,张洁瑕等就此方面的研究做了一定的研究,揭示了西芹生产中水、氮肥和磷肥用量关系,但此方面的理论研究还需一定的试验数据做支撑。因此,关于蔬菜水肥耦合产量效应和硝酸盐效应的研究工作还有待加强。

1.4 控制措施

选育低硝酸盐累积的蔬菜品种,是控制硝酸盐含量达到环境控制标准的重要措施之一。因此,应通过品种试验筛选和选育硝酸盐含量的蔬菜品种。增施CO₂或降低O₂浓度,可促使植株体内硝酸盐还原,从而减少积累^[78-79]。近来随着蔬菜硝酸盐生理机制研究的深入展开,可望从分子水平上加强对蔬菜硝酸盐的微观调控^[80]。合理经济地使用氮肥。注意平衡施肥,发挥有机肥,硝化抑制剂及氮肥的施用技术的长处。合理灌溉,避免污灌,改进灌溉技术,也是控制硝酸盐积累的重要措施^[81]。创造良好的光温条件以及合理轮作,利用它们的生物特性合理搭配,可降低蔬菜硝酸盐的积累。如中山沙朗种植茼蒿、菜心,硝酸盐累积分别为6419、1745 mg/kg^[82]。适宜的收获期,或收获后期使用生物抑制剂来控制植物对氮的吸收^[83]以及合理加工、储藏蔬菜,也有助于实现蔬菜的安全食用标准。金同铭^[84]等认为不同的储藏加工方式对硝酸盐的含量影响很大。

1.5 对蔬菜硝酸盐污染研究的认识

辩证认识蔬菜硝酸盐对人类的危害,对于蔬菜硝酸盐污染达到4级水平的含量,指的是人体一次中毒剂量,日常生活每人的ADI不会超过1kg,摄入体内的硝酸盐大多随泌尿系统排出,留在体内很少;另外,据报道维生素C/NO₂⁻=2时,有阻止形成亚硝胺作用,因此,多食用富含维生素C的蔬菜、水果有益于降低硝酸盐的危害^[1,84]。同时,综合各种影响因子及防治措施,创造良好的光温条件,进行合理的配方施肥,同时选育低硝酸盐

富集的蔬菜品种等措施的基础上,进行蔬菜生产水、肥、温等的科学管理以及烹调加工技术。

2 对蔬菜硝酸盐研究存在的问题及前景展望

2.1 存在的问题

由于各地土壤和气候条件的不同,一个地区的结果很难推广应用^[85];一些有争议的问题如在作物生育期,水分胁迫下,施肥的效应问题等^[86-88],还需深入研究。其水肥的量化问题及氮肥使用环境安全标准有待进一步深入研究。关于蔬菜水肥管理研究多集中在水和肥单因子研究方面,而将双因子结合起来研究的还不够,水肥耦合效应在蔬菜作物上的研究还有待于深入。尽管有人对日光温室滴灌辣椒的水肥耦合效应给予了一定的研究^[89],但研究面太窄,只涉及产量,而关于蔬菜的生物学特性,水肥的利用率以及品质等问题均未涉及。水肥耦合的量化问题,还缺少先进科技手段的辅助,而使其精确度不高,可操作性不强。

2.2 前景展望

水肥耦合效应协同管理具有前瞻性、开拓性,符合精确农业趋势^[90]。目前关于水肥耦合效应研究多集中在大田作物^[91-92]关于水肥耦合效应在蔬菜作物方面的研究报道还很少。由于蔬菜的生长和硝酸盐问题是水肥综合管理的结果。因此,应该拓宽水肥耦合的研究对象及思路,特别应加强其在蔬菜产量、品质尤其是硝酸盐积累规律方面的研究,以推动目前关于蔬菜硝酸盐的研究工作。随着关于水肥耦合研究的不断深入,可预知水肥耦合效应的应用前景十分广阔。随着可持续发展战略的实施、西部大开发政策的执行以及干旱区蔬菜生产基地的开发,还有待于这一模式的灵活运用。一些先进技术如‘3S’技术以及溶质运移理论的应用,必将促使这一模式日臻完善和更加精确化。

另外,今后还应该加强以下几方面的研究工作:一是从分子学的角度深入研究叶类蔬菜、根类蔬菜硝酸盐积累的机理,选育出硝酸盐含量低的营养品质高的蔬菜品种;二是深入研究多种氮素形态组合对基质栽培蔬菜生长和硝酸盐累积的效应,并研制开发低硝酸盐蔬菜专用肥料;三是从有机肥料的种类、用量以及其同无机肥相结合配施等方面研究对蔬菜产量和品质的效应。四是开展蔬菜生育期全过程硝酸盐运移规律研究,研究优化措施控制不同蔬菜硝酸盐累积的作用机理,并寻求控制硝酸盐累积的关键技术措施。

参考文献

- [1] 汪雅谷. 无污染蔬菜的理论与实践[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001:16-17.
- [2] 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, 1999, 7(5): 1-13.
- [3] 刘文桃, 林亚萍, 李家鹏, 等. 扬州市蔬菜硝酸盐污染现状调查及分析[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(3): 832, 847.

- [4] 唐建初,刘钦云,吕辉红,等.湖南省蔬菜硝酸盐污染现状调查及食用安全评价[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2005,31(6):672-676.
- [5] 董章杭,李季,孙雨梅.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.
- [6] 史静,张乃明,褚素贞,等.滇池流域地下水硝酸盐污染特征及影响因素研究[J].农业环境科学学报,2005,24(增刊):104-107.
- [7] 沈明珠,翟宝杰,东惠茹,等.蔬菜硝酸盐累积的研究I.不同蔬菜硝酸盐和亚硝酸盐含量评价[J].园艺学报,1982,9(4):41-48.
- [8] 肖春亮,郑诗樟,牛德奎.施肥对蔬菜累积硝酸盐影响的研究进展[J].安徽农业科学,2007,35(6):1732-1734,1791.
- [9] 李会合,王正银,李宝珍.蔬菜营养与硝酸盐的关系[J].应用生态学报,2004,15(9):1667-1672.
- [10] 杜红斌,王秀峰,崔秀敏.植物硝酸盐积累的生理机制研究[J].中国蔬菜,2001(2):49-51.
- [11] 庄舜尧,孙秀延.氮肥对蔬菜硝酸盐积累的影响[J].土壤学进展,1995,23(3):29-34.
- [12] 高祖明.几种叶菜的硝酸盐和亚硝酸盐积累及其有关酶活性关系[J].植物生理学通讯,1990(3):21-24.
- [13] 王朝辉,田霄鸿,李生秀,等.土壤水分对蔬菜硝态氮积累的影响[J].西北农业大学学报,1997,25(6):15-20.
- [14] 狄廷均,朱毅勇,许征宇,等.不结球白菜体内硝酸盐积累与其液泡膜上质子泵的关系[J].南京农业大学学报,2007,30(1):70-74.
- [15] Araeb B A.植物积累硝酸盐的农业生态因素[J].土壤学进展,1992,20(2):20-24.
- [16] 申秀英,许晓路.蔬菜硝酸盐积累机制及影响因素[J].农业环境与发展,1998,15(3):4-6,20.
- [17] 王宪泽,程炳嵩,张国珍.蔬菜中的硝酸盐及其影响因子[J].植物学通报,1991,8(3):34-37.
- [18] 白碧君.蔬菜硝酸盐积累及其控制的研究[J].中国蔬菜,2000,2(2):20-23.
- [19] 王少先,章和珍,张保根,等.蔬菜硝酸盐污染及其防治[J].江西农业学报,1998,10(4):86-90.
- [20] P. 弗里茨.关于蔬菜的硝酸含量[J].园艺学报,1981,8(4):69-70.
- [21] 林志刚,赵仪华,薛耀英,等.叶菜类蔬菜硝酸盐积累规律及其控制方法研究[J].土壤通报,1993,24(6):253-255.
- [22] Corre W J, Breimer T. Nitrate and nitrate in vegetables [M]. Wageningen center for agricultural publish and document action, 1979.
- [23] Lorenz O A. Nitrate in the environment, soil-plant-nitrate-relationship [M]. Donald R, Nielson J G, Mac Donald. New York: Academic, 1978(2):201-209.
- [24] 段永惠,张乃明,张守萍,等.太原市蔬菜硝酸盐污染状况及其影响因素[J].农业环境保护,1998(3):126-128.
- [25] Breimer T. Environmental factors. And cultural measures affecting the nitrate in sprinach [J]. Fertilizer and Research, 1982(3):191-192.
- [26] 浙江农业大学.植物营养与肥料[M].北京:农业出版社,1999.
- [27] Olad Y F. A-hp Y siological basis for different pa-ems of nitrate accuimulation in two Spinach cultivars[J]. Joof Amer, Soc. Hort. sd, 1976, 1101(8):217-219.
- [28] 陈振德.不同收获期对叶菜硝酸盐含量的影响[J].中国蔬菜,1989(3):8-10.
- [29] 何天秀,何成辉,吴德意.蔬菜中硝酸盐中含量及其与钾含量关系[J].农业环境保护,1992,11(5):209-221.
- [30] 张乃明.施肥对蔬菜中硝酸盐积累的影响[J].土壤肥料,2001(2):37-38.
- [31] Steingrover E, Ratering P, Siesling J. DailY changes in uptake, reduction and cstorage of nitrate in spinach groun at low light intensitY [J]. Plant arum, 1986, 63(3):557-556.
- [32] 韦翔华,白厚义,陈佩琼,等.浅谈防治硝酸盐对蔬菜污染的合理技术[J].广西农学报,1999(4):61-64.
- [33] Cantliffke D I. Nitrate accumulation in spinach grown at different temperatures [J]. Amer. Soc. Hort. Sci., 1972, 87(5):674-676.
- [34] Corre W J, Breimer T. Witrate and nitrate invegetables [M]. Wageningen center for agricultural publish and documentation, 1979, 85:256-261.
- [35] Roorda van Eysinga. nitrates in vegetables under protected cultivation [J]. Acta. Horticulcture, 1984, 145:251-256.
- [36] 杨晓英,杨劲松.氮素供应水平对小白菜生长和硝酸盐积累的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(1):160-163.
- [37] 吴大付,陈红卫,王小龙.氮肥集约度对小白菜硝酸盐积累的影响[J].安徽农业科学,2007,35(2):480-481,485.
- [38] 胡承孝,邓波儿.施用氮肥对小白菜、番茄中硝酸盐积累的影响[J].华中农业大学学报,1992,11(3):239-243.
- [39] 苏天明,顾明华,黎晓峰,等.尿素配施氯化铵对菜薹硝酸盐积累的影响[J].中国蔬菜,2005(9):7-9.
- [40] 高强,巨晓棠,张福锁.几种新型氮肥对叶菜硝酸盐累积和土壤硝态氮淋洗的影响[J].水土保持学报,2007,21(1):9-13.
- [41] 李天贵,周兆德.黄启为.氮肥种类对蔬菜品质和影响的研究[J].湖南农学院学报,1991,17(1):17-22.
- [42] Gurillard K, Allinson D W. Effect of nitrogen fertilization on a Chinese cabbage hybrid [J]. Agron. J., 1988, 80:21-26.
- [43] 黎星辉,黄启为. III 蔬菜的品质与合理施肥对蔬菜体内硝酸盐含量的影响[M]//谢建昌.菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥.南京:河海大学出版社,1997.
- [44] 戴军,刘腾辉.广州菜地生态环境的污染特征[J].土壤通报,1995,26(3):102-104.
- [45] 任祖淦,邱孝煊,蔡元呈,等.化学氮肥对蔬菜硝酸盐污染影响的研究[J].中国环境科学,1997,17(4):326-329.
- [46] 田霄鸿,王朝辉,李生秀.不同氮素形态及配比对蔬菜生长和品质影响[J].西北农业大学学报,1999,27(2):6-10.
- [47] 刘高京,李式军.酰胺态氮对水培白菜产量和硝酸盐积累影响的季节性差异[J].南京农业大学学报,1993,16(2):111-113.
- [48] 周根梯,卢善玲.磷钾肥、光照、贮藏加工对蔬菜硝酸盐含量的影响[J].上海农学报,1991,7(2):53-56.
- [49] 王朝辉.磷肥影响蔬菜硝酸氮积累的机理[J].南京土壤所,1997(10):25-27.
- [50] 张瀚茗,江丽华,闫华,等.济南市蔬菜硝酸盐及施肥影响[J].土壤肥料,1997(5):22-24.
- [51] 倪吾钟,何念祖,林荣新.钾肥对大白菜产量形成和叶球品质的影响[J].植物营养与肥料学报,1996,2(2):162-168.
- [52] 许前欣,赵振达,李秀文,等.钾肥对蔬菜产量品质效应的影响[J].土壤肥料,1999(2):23-25.
- [53] 李家康,徐美德,梁德印,等.我国北方施用硫酸钾对提高蔬菜和果树产量与品质作用[J].土壤肥料,1996(6):1-5.
- [54] 傅柳松,刘超,吴方正,等.钼和双氰胺降低蔬菜硝酸盐积累的效应研究[J].环境污染与防治,1994,16(3):4-6,45.
- [55] 郑相穆,谷丽萍,周阮宝,等.钼对降低普通白菜叶片硝酸盐的作用[J].植物生理学报,1995,31(2):95-96.
- [56] 黄洁,郝星,高天云,等.微量元素肥料对不同施肥状况大白菜硝酸盐积累的影响[J].内蒙古农业科技,1995(3):26-27.
- [57] Blom Zandstra M, lampe J M. The effects of chloride and sulfate salt on the nitrate content in lettuee plant [J]. Plant Nutr, 1983(6):611-628.

- [58] 甄英肖,刘淑君,刘书起. 钼肥对莴苣、油菜硝酸盐含量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2007(1):51-53.
- [59] 余光辉,张杨珠,万大娟. 喷施稀土和微肥对小白菜硝酸盐和亚硝酸盐含量及其它品质的影响[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(增刊):9-12.
- [60] 李淑仪,郑惠典,廖新荣,等. 施用中量微量元素对小白菜产量和硝酸盐含量的影响[J]. 生态环境, 2004, 13(3):444.
- [61] Hever B. Growth, photosynthesis and protein content in cucumber plant as affected by supplied nitrogen form [J]. Journal of plant Nutrition, 1991, 14(4):363-373.
- [62] 李仁发,潘晓萍,蔡顺香,等. 施用有机肥对降低蔬菜硝酸盐残留的影响[J]. 福建农业科技, 1999(6):14-15.
- [63] 周艺敏,张金盛. 有机肥与无机肥配合施用对蔬菜作物 N 肥流向的影响[J]. 生态农业研究, 1998, 6(4):33-36.
- [64] 郑广胜,彭根元,张起刚. 应用¹⁵N 示踪法研究芹菜的硝酸盐积累[J]. 核农学报, 1995, 9(1):42-46.
- [65] 蒋卫杰,余宏军,李红. 不同有机肥种类对生菜硝酸盐含量的影响[J]. 中国蔬菜, 2005(8):10-12.
- [66] 秦鱼生,涂仕华,冯文强,等. 有机无机肥料对蔬菜产量和硝酸盐累积的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5):670-67.
- [67] 张杨珠,杨志海,吴名宇,等. 有机无机肥配合施用对菜园土壤及蔬菜硝酸盐类动态的影响[J]. 农村生态环境, 2005, 21(3):38-42.
- [68] 刘文祥,王桂英,李乃光. 土壤肥力与施肥对油菜硝酸盐含量和产量的影响[J]. 北京农业科学, 1996, 14(4):25-27.
- [69] 杨学春,欧阳东,王定勇. 绿色食品开发与管理[M]. 成都:成都科技大学出版社, 1998.
- [70] 于彩虹,许前欣,孟兆芳. 生物菌肥对蔬菜品质的影响[J]. 天津农业科学, 2000, 6(2):20-22.
- [71] 李国学,孙英,丁雪梅,等. 不同堆肥及其制成低浓度复混肥的环境和蔬菜效应的研究[J]. 农业环境保护, 2000, 19(4):200-203.
- [72] 王昌全,李廷强,夏建国,等. 有机无机复合肥料对农产品产量和品质的影响[J]. 四川农业大学学报, 2001, 19(3):241-244.
- [73] 王景华,杨宝生,姜洪华,等. 氮、钾、锌肥配施对西芹产量和品质的影响[J]. 山西农业科技, 1999, 27(3):51-54.
- [74] 刘光栋,杨力,宋国茜,等. 氮硫养分平衡对大白菜品质和抗病影响的研究[J]. 山东农业大学学报, 1999, 27(3):51-54.
- [75] 陆文龙,赵宏雷,王德芳. 矿质营养对白菜硝酸盐含量的影响[J]. 农业环境保护, 1999, 18(3):118-120.
- [76] 卢华琼,苏智先,严贤春,等. 不同贮藏条件和洗涤方式对蔬菜中亚硝酸盐含量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(3):172-176.
- [77] 于红梅,龚元石,李子忠,等. 不同水氮管理对苋菜和菠菜的产量及硝酸盐含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3):302-305.
- [78] Reinink K, Blon-zandstra M. The relation between cellsize, ploidy level and nitrate content in lettuce (*Lactuca sativa* L.) [J]. Physiologia plantarum, 1989, 76(4):575-580.
- [79] Purvis A C, Pteters D B, Hageman R H. Effect of carbon Dioxide on nitrate accumulation and reduction in corn seedling [J]. Plant Physiol, 1974 (53):934-941.
- [80] 肖焱波,李文学,段京颜,等. 植物硝态氮动力学研究[J]. 中国农业科技导报, 2002, 4(2):56-59.
- [81] 杨丽娟,张玉龙. 保护地菜田土壤硝酸盐积累及其调控措施研究进展[J]. 土壤通报, 2001, 32(2):66-69.
- [82] 谢河山,王燕鹏,程萍,等. 珠江三角洲叶菜类蔬菜硝酸盐污染现状及对策[J]. 广东农科学, 2000(5):26-28.
- [83] 吴礼树. 土壤资源特性与利用[M]. 北京:青年科学出版社, 1990.
- [84] 金同铭,何洪巨. 贮藏大白菜硝酸盐亚硝酸盐的积累动向[J]. 北京农业科学, 1993, 11(2):20-22.
- [85] 郑昭佩,刘新作. 水肥耦合与半干旱区农业可持续发展[J]. 农业现代化研究, 2000, 21(5):291-294.
- [86] Atchur W, Gram A W. Interactions encountered when supplying nitrogen when supplying nitrogen and phosphorus fertilizer and a water-soluble polyacrylamide to soil[J]. Plant Nutri., 1990, 13(3&4):343-347.
- [87] Benbi D K. Efficiency of nitrogen use by dry-land wheat in a sub-humid region in relation to optimizing the amount of available water[J]. Agric. Sci., 1989, 115(1):7210.
- [88] Levie B. water and nitrate budgets in a rendzina cropped with oilseed rape receiving varying amount of fertilizer [J]. Eur. J. Soil Sci., 1998, 49:37-51.
- [89] 高艳明,李建设,田军仓. 日光温室滴灌辣椒水肥效应研究[J]. 宁夏农学院学报, 2000, 21(3):39-45.
- [90] 徐学选,翟惠平. 水肥协同管理:未来精确农业的基础——评《水肥耦合效应与协同管理》一书[J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(3):129-131.
- [91] 吴海卿,杨传福,孟兆江,等. 以肥调水提高水分利用效率的生物学机制研究[J]. 灌溉排水, 1998, 17(4):6-10.
- [92] 詹卫华,黄冠华,冯绍元,等. 喷灌条件下花生玉米间作的水肥耦合效应[J]. 中国农业大学学报, 1999, 4(4):35-39.

Review and Outlook of the Research on Nitrate Content of Vegetables

GUO Jing-li¹, ZHANG Jie-xia^{2,3}

(1. Institute of Agricultural Economics and Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; 2. Key Laboratory of Resources Remote-sensing and Digital Agriculture of Ministry of Agriculture, Beijing 100081; 3. Institute of Agriculture Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100081)

Abstract: The paper mainly summarized the study on nitrate content of vegetables in our country, namely limited index on nitrate content of vegetables, accumulated essence, influence factor (including internal factors such as species and varieties of vegetable, species and dosage of fertilizer and external factors such as vegetable growth environment condition) were summarized to indicate the research progress of accumulation on nitrate content of vegetables. The existing problems were pointed out in the present research. Finally some Suggestions were put forward to the further research, Further researches and strategies of nitrate content in vegetables were also discussed.

Key words: vegetables; nitrate; accumulation; factors; control