

有机与常规农产品营养品质差异研究进展

王磊^{1,2}, 汪玉³, 田伟^{1,2}, 王霞^{1,2}, 席运官^{1,2*}, 张纪兵^{1,2}, 肖兴基^{1,2}

(1. 环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042; 2. 环境保护部有机食品发展中心, 南京 210042;

3. 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘要: 与常规农业相比, 有机农业是实现农业可持续发展与食品安全的有效途径之一。而与常规农产品相比, 有机农产品是否更加富有营养尚存在争议。对有关有机农产品与常规农产品营养价值的差异性研究进行了概述, 结果表明尽管经过统计分析有机果蔬农产品矿物元素、维生素 C (V_C) 与酚类次生代谢产物的含量显著高于常规农产品 ($P < 0.01$), 但不能简单判定有机农产品品质高于常规农产品。施肥方式, 特别是有机肥氮素持久而缓慢的释放特征是有机果蔬营养品质较高的主要原因, 但同时也是限制有机农产品产量的关键因素。如何在提高作物高产的同时, 使农产品营养品质与口感最优化, 将是今后研究的一个重要领域, 需要开展广泛深入的研究。

关键词: 有机农产品; 常规农产品; 品质; 差异性

中图分类号: TS201.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2014)04-0569-06

Analysis of nutritional difference between organic and conventional agricultural products

WANG Lei^{1,2}, WANG Yu³, TIAN Wei^{1,2}, WANG Xia^{1,2}, XI Yunguan^{1,2}, ZHANG Jibin^{1,2}, XIAO Xingji^{1,2}

(1. Nanjing Institute of Environmental Sciences of the Ministry of Environmental Protection of PR China, Nanjing 210042;

2. Organic Food Development Center of the Ministry of Environmental Protection of PR China, Nanjing 210042;

3. Institute of Soil Science; Chinese Academy of Sciences; Nanjing 210008)

Abstract: Organic farming is recognized as an effective approach for agricultural sustainability and food safety. However, whether organic agricultural products contain more certain nutrients than conventional ones is still unclear. This paper summarized the differences in certain nutrients between organic and conventional agricultural products. Statistically, nutrients in organic products are significantly higher than that in conventional products, especially for vitamin C (V_C), mineral compounds and secondary metabolites ($P < 0.01$). However, it is not reasonable to conclude that the quality of organic agricultural products is higher than conventional products only based on the content of a few nutrients. The possible mechanism of agricultural system and fertilizing pattern on products quality was discussed. The nutrient contents higher in organic products primarily results from the fertilizing pattern and the slow and long-term release pattern of plant nutrients, especially for N content in fertilizers. Therefore, further research should be conducted to improve nutritional quality and taste of crop products besides high yield.

Key words: organic agricultural products; conventional agricultural products; quality; difference

随着人们生活水平与健康意识的提高, 农产品生产将由以数量为主转向数量与质量并重, 农产品的安全性与营养品质更加受到重视。有机农产品要求在生产中完全不使用人工合成的肥料、农药、生长调节剂, 而采用有机肥满足作物营养需求, 利用

农艺、生物、物理措施防治病虫害。因此, 有机农产品被认为更加安全健康, 而且环境友好^[1-2]。然而, 与常规农产品相比, 有机农产品的营养价值是否更高则越来越受到关注, 也是目前存在争议的科学问题。

收稿日期: 2013-12-05

基金项目: 国家环境保护公益性行业专项 (201209036、201309036), 江苏省青年基金 (BK20130105), 国家科技支撑项目 (2014BAK19B00) 和中央级公益性科研院所基本科研业务专项 (201401001) 共同资助。

作者简介: 王磊, 博士。E-mail: wlofrcc@126.com

* 通信作者: 席运官, 研究员。E-mail: xygofrcc@126.com

农产品营养品质通常指人体所必需的淀粉、糖、蛋白质、脂肪、氨基酸、维生素、矿质营养等成分含量的大小。有关有机农产品与常规农产品营养品质的差异性研究已有大量报道。部分研究发现与常规农产品相比,有机农产品富含营养物质,特别是矿物质、维生素C(V_C)、次生代谢产物(多酚等)含量较高,而硝态氮含量则较低^[3-4],因此被认为更加营养而且安全。但也有研究发现有机农产品与常规农产品在营养物质含量上差异并不显著^[5-7],不足以证实有机农产品营养价值更高。针对有机农产品与常规农产品营养品质是否存在差异性的争议,本文概述了有关有机农产品与常规农产品品质差异方面的研究结果,并探究形成差异的内在原因,以期客观认识有机农产品营养品质提供参考,为生产优质农产品提供技术借鉴。

1 有机农产品与常规农产品品质的比较

有关有机农产品与常规农产品在营养价值差异性的报道主要集中于矿物质、维生素与次生代谢产物的含量。Bourn 等人^[5]对1970—2000年有机果蔬、谷物类农产品与常规农产品的营养品质差异结果进行了比较,发现有机食品的营养品质低于、高于或与常规农产品营养品质无差异,不能得出有机农产品营养品质高于常规农产品的结论。之后研究人员试图通过元分析(Meta-Analysis)的方式,验证两者营养品质是否存在差异,笔者将统计结果加以总结,如表1所示。例如,Worthington 等人^[3]通过统

计分析的方法对1980—1997年间所有关于有机与常规果蔬、谷物类农产品的营养品质的研究结果加以比较,发现与常规农产品相比,有机农产品中V_C、铁(Fe)、镁(Mg)与磷(P)的含量更高($P < 0.05$),分别高出常规农产品27.0%、21.1%、29.3%和13.6%。考虑到市场购得的有机与常规农产品可能来源于不同类型的土壤、气候条件,为减少环境因素的干扰,Hunter 等^[8]对种植环境、土壤类型、收获时间以及营养物质的分析方法进行了筛选,对1980—2007年的有机果蔬、谷类和豆科类有机与常规农产品中微量营养物质含量差异的比较结果加以统计,发现有机农产品中微量营养物质的含量在总体水平上显著高于常规农产品($P = 0.002$)。其中蔬菜与豆科作物更为显著(蔬菜, $P < 0.001$;豆科作物, $P = 0.004$);磷的含量高于常规食品7%($P < 0.001$),而V_C、Fe、Mg的含量差异性不显著($P > 0.01$)。Brandt 等人^[9]对1992—2009年的果蔬类中维生素与次生代谢产物差异性含量分析,发现有机果蔬农产品中V_C含量与次生代谢产物的含量分别高于常规农产品6%和12%($P < 0.0001$)。其中与作物抗性相关(defense-related)的酚类次生代谢产物的含量高于常规食品16%($P < 0.001$),而与抗性无关的胡萝卜素含量并没有显著性差异。Brandt 等人对研究结果的筛选标准更加严格,特别是针对有机农产品生产的规范性,认为1991年欧盟制定有机产品标准之后的研究成果才能采纳。

表1 有机农产品与常规农产品营养价值比较

Table 1 Contents of nutrients in organic agricultural products relative to those in conventional agricultural products

品质 Quality	平均差值/% Mean range			
矿物质 Mineral substance	—	—	+5.5*	—
钙 Ca	—	—	+0.6	—
镁 Mg	+29.3*	+29.3*	+3.5	—
钾 K	—	—	+5.0	—
铁 Fe	+21.1*	+21.1*	+3.3	—
磷 P	+13.6*	+13.3*	+6.6*	—
维生素 C V _C	+27.0*	+28.7*	+6.7*	+6*
酚类 Phenols	—	+119.3*	—	+16*
统计源 Statistical source	1980-1997 ^[3]	1980-2003 ^[10]	1980-2007 ^[8]	1992-2009 ^[9]

注:平均差值%=[(有机农产品营养值-常规农产品营养值)/常规农产品营养值]×100;“*”表示差异显著($P < 0.01$);“—”表示没有统计分析。

Note: mean % difference was calculated as: [(organic-conventional)/conventional]×100; “*” expressed as significant difference ($P < 0.01$); “—” not analyze.

当然任何途径都很难在绝对统一的条件下分析有机农产品与常规农产品在营养品质上的差异。在

生产实践中,除了土壤类型、气候等环境变量因素影响外,有机与常规种植方式如肥料施用类型、管

理方式的差异也会不同程度影响作物的营养品质。无论有机农产品还是常规农产品在营养品质含量上都表现出不同程度的变异性。因此不能判定有机农产品的营养品质一定高于常规农产品。只是在统计学上, 在相似的环境条件下, 有机果蔬类农产品所含矿物元素、VC 与酚类次生代谢产物的含量高于常规农产品 ($P < 0.01$)。

2 农产品营养品质差异性机制

尽管大量统计结果表明有机果蔬类农产品所含矿物质、VC 与酚类物质的含量显著高于常规农产品, 但也有研究表明两种农产品品质不存在差异。有机与常规种植方式是否或者如何造成农产品品质的差异引起广泛的研究兴趣。由于矿物质被认为是通过常规农产品摄取就可以满足, 而 VC 与酚类等次生代谢产物具有抗氧化性, 更有利于人体健康, 成为研究的热点。农产品的品质是其基因与外界环境共同作用的结果。诸如品种、气候、区域环境污染状况等都是独立于耕作方式之外的环境因素。如果排除这些变量的影响, 有机种植与常规种植方式最主要的区别可以归纳为是否禁用化学合成农药和化学肥料差异。

2.1 有机与常规农产品营养品质差异的两种假说

很多学者试图解释统计学上有机农产品为什么含有更高的 VC 与酚类物质, 其中主要包括两种假设, 植物防卫的碳-养分平衡假说和生长-分化平衡假说^[9-10]。是否施用化学合成的农药是有机农场与常规农场的主要区别之一。部分学者认为, 在没有化学农药施用的条件下, 有机农场病虫害的发生机率上升, 从而激发农作物合成更多的抗性化学物质以提高自身抵抗病虫害的防御能力^[5,11], 因此来源于有机生态背景的环境胁迫促使有机农产品合成更多的次生代谢产物以增强病虫害防御能力, 即“碳-养分平衡假说”。而“生长-分化平衡假说”^[12] (如图 1 所示) 则认为, 当作物获取充足的外源营养时 (B-C 区间), 资源分配利于作物生长而不利于分化获取的资源, 因此作物的生长速率提高, 但会减少次生代谢产物的生成。相反, 当营养不足时 (A-B 区间), 作物生长速率减缓, 但代谢产物会增加。

然而, 部分田间试验表明酚类物质含量的提高与施肥显著相关, 而与病虫害防治无关。例如 Zhao 等人^[13]通过害虫引入与施肥差异处理, 证实了大白菜中酚类次生代谢产物的变化与施肥处理有关而与害虫防治方式处理无关。Lehesranta 等人^[14]通过长期的田间试验发现马铃薯块茎中 14% 的代谢产物差

异是由施肥类型的差异引起的, 而与是否施用化学合成农药等其他因素的相关性并不显著。另外, 在实际生产中, 常规耕作方式具有高投入、高产出的特征, 通过大量的肥料特别是化肥的投入以提高作物产量; 而相比之下, 有机种植方式有机肥料营养元素释放缓慢, 具有低投入、低产出的特征, 其产量通常低于常规农产品 20% 左右^[10]。根据“生长-分化平衡假说”常规种植方式下, 资源分配有利于生长不利于分化, 有机耕作方式有利于分化而不利于生长, 这也在一定程度上解释为什么在统计学上有机果蔬农产品的酚类含量高于常规果蔬。因此, 目前“生长分化平衡假说”更加合理解释代谢产物含量差异, 与病虫害防治方式相比, 施肥方式被认为是造成有机与常规农产品差异的主要原因。

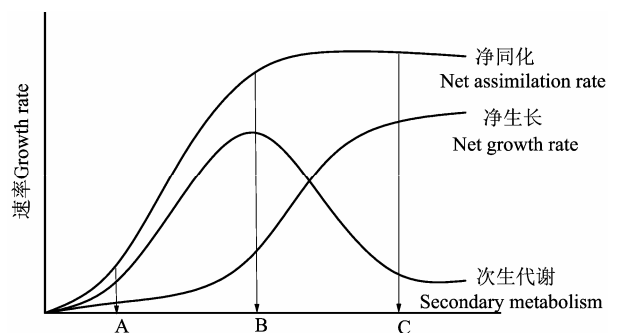


图 1 资源有效性与净同化速率、净生长速率和次生代谢的关系^[14] (A, B, C 资源量依次增大)

Figure 1 The relationship between resource availability, net assimilation rate, net growth rate and secondary metabolism contents (the resource with the increase order of A, B and C)

2.2 施肥方式与农产品营养品质

由于有机耕作方式不使用化肥, 土壤中作物可利用性氮相对较低^[15-16], 氮元素是核酸、蛋白质、磷脂和许多次生产物的必需元素, 通常是有机作物生长速率的限制因子。以硝态氮为唯一氮源的水培试验已证实氮缺乏时会减少氨基酸 (特别是谷氨酰胺)、蛋白质和其他含 N 物质的含量, 但会增加淀粉、黄酮类 (例如芦丁、阿魏酸) 和苯丙素类物质的含量^[17]。Brant 等人^[18]也发现有机种植虽然降低作物可利用性 N, 但同时会增加作物抗性物质酚类的合成, 增强其对病虫害的抵抗能力。相反, 常规种植方式具有高投入、高产出的特点。研究发现作物体内 N 元素相对于其他营养元素过量时, 会激发作物合成更多氮含量高的氨基酸、蛋白质, 粗蛋白质的含量则相应下降, 从而降低了蛋白质品质^[19]。

当 N 含量超出作物合成氨基酸或蛋白质的能力时,过量的 N 以硝态氮的形式在作物体内聚集起来。而且蛋白质合成越多会消耗更多的能量即碳水化合物,减少 V_C 的合成。田间试验进一步证实了上述理论,发现氮肥施加量的增大会不同程度减少 V_C ^[20]和次生代谢产物的含量^[21-22]。例如,当氮肥施肥量由 $45 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 增加至 $225 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,土豆中 V_C 的含量可减少 14.5% ^[23];当氮肥施用量从 $80 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 增加至 $120 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,青花菜中 V_C 含量减少 7% ^[24]。Toor 等人发现不施肥处理甘蓝中总酚的含量反而是施肥后的 $1.4\sim 4.6$ 倍^[25]。因此,有机农产品含有更高的 V_C 和次生代谢产物含量主要是因为有机肥中 N 素的矿化速率相对缓慢,作物可利用氮相对较低导致的。

另外,钾是影响作物品质的“品质因子”,但是土壤对钾的吸附能力较弱,容易流失,而有机肥缓慢释放营养元素的特点,可以保持钾元素的持久供应。钾是作物体内多种酶的催化剂,包括合成酶类、氧化还原酶类和转移酶类。研究报道钾能够催化多种代谢反应,影响光能转化为化学能,从而影响淀粉、脂肪和蛋白质等化合物的形成。钾缺乏会影响植物的光合作用、呼吸作用,从而降低碳水化合物的含量,减少 V_C 含量;相反,钾充足可以提高硝酸还原酶活性、促进蛋白质和氨基酸代谢,降低硝酸盐含量,提高各氨基酸的含量^[26]。例如: Ni 等^[27-28]发现充足的钾肥可以显著提高蔬菜中 V_C 与自由氨基酸的含量,降低硝酸盐的含量,而这种效果在与氮肥均衡使用的条件下更为显著。与化肥相比,有机肥容易做到“均衡施肥”。除了 N、钾(K)元素外,其他元素如 P、硫(S)等都会直接或间接的影响农产品品质。例如磷是核酸与膜质的主要组成元素,参与磷脂源分子和磷酸化相关过程。磷缺乏会影响磷酸化和糖酵解^[29],而芳香族化合物是磷酸戊糖循环途径生成的 4 磷酸赤藓糖与糖酵解途径生成的磷酸烯醇式丙酮酸缩合形成 7 磷酸庚酮糖,经过一系列转化进入莽草酸和分支酸途径,然后通过分支酸合成各种具有分支的芳香族氨基酸,最后生成芳香族代谢物。钾元素虽然不是代谢产物的组成元素,但 K 参与代谢过程,特别是运输、转运、酶活性(丙酮酸激酶、淀粉合成酶等)。硫元素更是很多氨基酸、次生代谢产物的组成元素, S 的缺乏直接导致代谢产物含量的减少。在实际生产中往往并不是一种元素缺乏或过量,往往是多种元素缺乏或过量,例如 N、S 某一元素的缺乏都会限制半胱氨酸的合成等^[30]。所以除 N 元素外,多种元素含量的不

平衡性对代谢产物含量产生不同程度的影响。马志宏等^[31]研究发现基于相同的氮施用量,不同有机肥(鸡粪、羊粪、猪粪)处理的乌塌菜中 V_C 含量差异显著。与不施肥处理相比,鸡粪处理效果最好, V_C 含量增加了 $16.13\%\sim 51.19\%$;王建湘等^[32]同样发现以油枯、鸡粪、猪粪、牛粪 4 种有机肥处理的小白菜,以鸡粪处理效果最为显著,以不施肥处理作为对照, V_C 含量增加 13.2% ,可溶性糖增加 26.1% ;而 Rapisarda 等发现不同有机肥(猪粪、禽粪)处理的柑桔中 V_C 含量与产量差异性并不显著^[33]。有机肥中除 N 元素以外,各元素的交互作用对作物的品质也会产生不同程度的影响,但影响程度如何以及各元素是如何影响代谢产物的机制尚不清楚,有待于进一步研究。

2.3 施肥方式对农产品口感的影响

植物营养元素的含量作用于作物代谢产物含量,代谢产物含量与农产品的口感和风味密切相关。如上所述,在等氮的条件下,与无机肥相比,有机肥施用使农产品氮含量较低。农产品中氮含量与蛋白质含量成正比,而与碳水化合物含量呈反比。蛋白质含量与淀粉结构对稻米的口感有显著影响^[34]。蛋白质含量直接影响米粒的吸水性。蛋白质含量高,米粒结构紧密,淀粉粒间的空隙小,吸水速度慢,吸水量少,米饭粘度低,较松散。因此氮含量较低的稻米,更具香味、柔软性和粘性。田间试验也证实了有机稻米的蛋白质含量低于常规大米,但食味性质优于常规稻米^[35]。同时,钾元素可以提高支链淀粉酶的活性,促进直链淀粉向支链淀粉的转换,增加稻米的软、润、粘等口感^[36]。另外,农产品中氮含量较低会减少碳水化合物的消耗,即有利于农产品中总糖含量提高,改善农产品口味。部分研究发现与无机肥相比,有机肥的施用可以提高农产品特别是瓜果类总糖或可溶性糖含量,降低酸糖比值。例如,有机肥种植的白菜中可溶性糖含量高于化肥种植的 0.8% ^[37]。有机肥(牛粪)种植的枣中总糖含量高于化肥种植的 6% ^[38]。有机肥施用可以改善纤维品质,提高口感。Jiang 等人^[39]研究发现单施化肥处理,柑桔的总纤维素含量增加,但主要是不溶性膳食纤维部;而施用有机肥处理时,柑桔可溶性膳食纤维增加,总膳食纤维含量变化不显著,口感多汁化渣,风味较好^[40]。罗华等人^[41]研究发现,有机肥的施用可以提高肥城桃果香型脂类化合物高达 55.73% ,甜香型内酯类化合物 2.13% ,果实香气由清香型向果香型与甜香型转换的趋势。因此,与化学肥料相比,有机肥肥效稳定,养分供应持续,可

以和作物的生理需求同步, 被认为是改善农产品风味的关键。

3 结论

在相似的环境条件下, 有机果蔬类农产品所含矿物元素、 V_C 与酚类次生代谢产物的含量只是在统计学上显著高于常规农产品 ($P < 0.01$), 不能简单的判定有机农产品的营养品质孰优孰劣。有机肥氮素持久而缓慢释放的特征是有机果蔬在统计学上含有更高的酚类次生代谢产物和 V_C 含量 ($P < 0.01$) 的主要原因。

目前有关有机种植方式对作物品质的影响的长期田间实验较少并缺乏系统性, 需要进一步建立。不同作物代谢产物对环境变化的敏感程度不同, 统计分析时作物种类在划分上还需要进一步细化, 有助于确立影响农产品营养品质的关键原因。另外, 如何在提高作物高产的同时, 使农产品营养品质与口感最优化^[42-43], 将是今后研究的一个重要领域, 需要开展广泛深入的研究。

参考文献:

- [1] Xi Y G, Qin P. Emergy evaluation of organic rice-duck mutualism system[J]. Ecological Engineering, 2009, 35(11): 1677-1683.
- [2] Xi Y G, Qin P, Ding G H, et al. The application and analysis of rice-growth model for organic rice fertilization management[J]. Ecological Engineering, 2009, 35(4): 602-608.
- [3] Worthington V. Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables, and grains[J]. The Journal of Alternative and Complementary Medicine, 2001, 7(2): 161-173.
- [4] Dangour A D, Lock K, Hayter A, et al. Nutrition-related health effects of organic foods: A systematic review[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2010, 92(1): 203-210.
- [5] Bourn D, Prescott J. A comparison of the nutritional value, sensory qualities, and food safety of organically and conventionally produced foods[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2002, 42(1): 1-34.
- [6] Williams C M. Nutritional quality of organic food: Shades of grey or shades of green? [J]. Proceedings of the Nutrition Society, 2002, 61(1): 19-24.
- [7] Siderer Y, Maquet A, Anklam E. Need for research to support consumer confidence in the growing organic food market[J]. Trends in Food Science and Technology, 2005, 16(8): 332-343.
- [8] Hunter D, Foster M, McArthur J O, et al. Evaluation of the micronutrient composition of plant foods produced by organic and conventional agricultural methods[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2011, 51(6): 571-582.
- [9] Brandt K, Leifert C, Sanderson R, et al. Agroecosystem management and nutritional quality of plant foods: The case of organic fruits and vegetables[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 2011, 30(1/2): 177-197.
- [10] Rembialkowska E. Quality of plant products from organic agriculture[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2007, 87(15): 2757-2762.
- [11] Young J E, Zhao X, Carey E E, et al. Phytochemical phenolics in organically grown vegetables[J]. Molecular Nutrition and Food Research, 2005, 49(12): 1136-1142.
- [12] Herms D A, Mattson W J. The dilemma of plants: To grow or defend[J]. Quarterly Review of Biology, 1992, 67(3): 283-335.
- [13] Zhao X, Nechols J R, Williams K A, et al. Comparison of phenolic acids in organically and conventionally grown pac choi (*Brassica rapa* L. Chinensis) [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2009, 89(6): 940-946.
- [14] Lehesranta S J, Koistinen K M, Massat N, et al. Effects of agricultural production systems and their components on protein profiles of potato tubers[J]. Proteomics, 2007, 7(4): 597-604.
- [15] Wang L, Butterly C, Yang X, et al. Use of crop residues with alkaline slag to ameliorate soil acidity in an ultisol[J]. Soil Use and Management, 2012, 28(2): 148-156.
- [16] Fritz C, Palacios-Rojas N, Feil R, et al. Regulation of secondary metabolism by the carbon-nitrogen status in tobacco: Nitrate inhibits large sectors of phenylpropanoid metabolism[J]. The Plant Journal, 2006, 46(4): 533-548.
- [17] Daniel G, Horwath W R, Joergensen R G, et al. Pathways of nitrogen utilization by soil microorganisms-a review[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2010, 21(21): 2058-2067.
- [18] Brandt K, Mølgaard J P. Organic agriculture: Does it enhance or reduce the nutritional value of plant foods? [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2001, 81(9): 924-931.
- [19] Eppendorfer W H, Eggum B O, Bille S W. Nutritive value of potato crude protein as influenced by manuring and amino acid composition[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1979, 30(4): 361-368.
- [20] Lee S K, Kader A A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops[J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 20(3): 207-220.
- [21] Koricheva J, Larsson S, Haukioja E, et al. Regulation of woody plant secondary metabolism by resource availability: Hypothesis testing by means of meta-analysis[J]. Oikos, 1998, 83(2): 212-226.
- [22] Stamp N. Out of the quagmire of plant defense hypotheses[J]. Quarterly Review of Biology, 2003, 78(1): 23-56.
- [23] Augustin J. Variations in the nutritional composition of fresh potatoes[J]. Journal of Food Science, 1975, 40(6): 1295-1299.
- [24] Lisiewska Z, Kmiecik W. Effects of level of nitrogen fertilizer, processing conditions and period of storage of frozen broccoli and cauliflower on vitamin C retention[J]. Food Chemistry, 1996, 57(2): 267-270.
- [25] Toor R K, Savage G P, Heeb A. Influence of different types of fertilisers on the major antioxidant components of tomatoes[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19(1): 20-27.
- [26] Armengaud P, Sulpice R, Miller A J, et al. Multilevel analysis of primary metabolism provides new insights into

- the role of potassium nutrition for glycolysis and nitrogen assimilation in arabisidopsis roots[J]. *Plant Physiology*, 2009, 150(2): 772-785.
- [27] Ni W Z, Hardter R, Ni W Z. Influence of potassium fertilization on yield and quality of foliar vegetable crops[J]. *Pedosphere*, 2001, 11(1): 77-82.
- [28] Premuzic Z, Garate A, Bonilla I. Production of lettuce under different fertilization treatments, yield and quality[J]. *Acta Horticulturae*, 2002, 563: 65-69.
- [29] Morcuende R, Bari R, Gibon Y, et al. Genome-wide reprogramming of metabolism and regulatory networks of arabisidopsis in response to phosphorus[J]. *Plant, Cell and Environment*, 2006, 30(1): 85-112.
- [30] Hesse H, Nikiforova V, Gakière B, et al. Molecular analysis and control of cysteine biosynthesis: Integration of nitrogen and sulphur metabolism[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2004, 55(401): 1283-1292.
- [31] 马志宏, 刘秀珍. 不同有机肥对乌塌菜产量及品质的影响[J]. *山西农业大学学报*, 2008, 28(2): 183-185.
- [32] 王建湘, 周杰良. 不同有机肥种类对小白菜品质及产量的影响[J]. *上海蔬菜*, 2007(1): 63-64.
- [33] Rapisarda P, Camin F, Fabroni S, et al. Influence of different organic fertilizers on quality parameters and the $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^2\text{H}$, $\delta^{34}\text{S}$, and $\delta^{18}\text{O}$ values of orange fruit (*Citrus sinensis* L. Osbeck) [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58(6): 3502-3506.
- [34] 沈中泉, 郭云桃, 袁家富. 有机肥料对改善农产品品质的作用及机理[J]. *植物营养与肥料学报*, 1995, 1(2): 54-60.
- [35] 席运官, 钦佩, 丁公辉. 有机与常规种植稻米品质及安全性的分析与评价[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(3): 454-458.
- [36] 王强盛, 甄若宏, 丁艳锋, 等. 钾肥用量对优质粳稻钾素积累利用及稻米品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2004, 37(10): 1444-1450.
- [37] 刘永, 梁春玲, 倪卫东, 等. 有机肥对大白菜产量, 品质的影响[J]. *上海蔬菜*, 2010(5): 67-68.
- [38] Marzouk H, Kassem H. Improving fruit quality, nutritional value and yield of zaghoul dates by the application of organic and/or mineral fertilizers[J]. *Scientia Horticulturae*, 2011, 127(3): 249-254.
- [39] Jiang J, Huang K, Qin Y, et al. Changes of dietary fiber in zizania latifolia galls in response to different fertilizers[J]. *International Society for Horticultural Science*, 2006: 207-210.
- [40] 王允圃, 刘玉环, 阮榕生, 等. 有机肥改良农产品品质的科学探索[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(9): 51-56.
- [41] 罗华, 李敏, 胡大刚, 等. 不同有机肥对肥城桃果实产量及品质的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18(4): 955-964.
- [42] Lee J. Effect of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production[J]. *Scientia Horticulturae*, 2010, 124(3): 299-305.
- [43] Gross A, Arusi R, Fine P, et al. Assessment of extraction methods with fowl manure for the production of liquid organic fertilizers[J]. *Bioresource Technology*, 2008, 99(2): 327-334.