

不同菜薹（菜心）品种硝酸盐含量的差异

宋世威 伊灵燕 刘厚诚 孙光闻 陈日远*

(华南农业大学园艺学院, 广东广州 510642)

摘要: 在水培条件下研究了 41 个菜薹（菜心）品种的生物量及硝酸盐含量。结果表明：菜心的生物量与成熟期呈极显著正相关，晚熟品种的生物量大，早熟品种的生物量较小；菜心不同品种间硝酸盐含量差异显著，并且薹茎的硝酸盐含量明显高于叶片。聚类分析将 41 个菜心品种划分为硝酸盐含量高、中、低的 3 个类群，硝酸盐含量高的类群（11 个品种）生物量低，硝酸盐含量低的类群（18 个品种）生物量高，硝酸盐含量中等的类群（12 个品种）生物量处于中等水平。

关键词: 菜薹；硝酸盐；聚类分析

中图分类号：S634.5 文献标识码：A 文章编号：1000-6346 (2012) 20-0039-05

Nitrate Content Discrepancies in Different Cultivars of Flowering Chinese Cabbage

SONG Shi-wei, YI Ling-yan, LIU Hou-cheng, SUN Guang-wen, CHEN Ri-yuan*

(College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China)

Abstract: Biomass and nitrate content in 41 cultivars of flowering Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. var. *utilis* Tsen et Lee) were studied under hydroponic conditions. The results showed that the biomass and maturity stage of flowering Chinese cabbage had significant positive correlation. Cultivars of late maturity acquired large biomass, and cultivars of early maturity acquired smaller biomass. There were significant differences in nitrate contents of different flowering Chinese cabbage cultivars, and the nitrate content in flower stalk was obviously higher than that in leaf blades. 41 cultivars of flowering Chinese cabbage were divided into 3 groups of high, medium and low nitrate contents according to cluster analysis. The group with high nitrate content (11 cultivars) had lower biomass, and the group with low nitrate content (18 cultivars) had higher biomass, while the group with medium nitrate content (12 cultivars) had medium biomass.

Key words: Flowering Chinese cabbage; Nitrate; Cluster analysis

硝酸盐含量超标、农药残留和重金属污染，是目前蔬菜食品安全面临的严峻问题。虽然硝酸盐本身对人体无直接危害，但其在人体内被还原生成亚硝酸盐及进一步合成亚硝酸胺，严重威胁人体健康 (Bartsch et al., 1988; Kelley & Duggan, 2003)。人们日常摄入的硝酸盐，绝大部分来源于蔬菜。因此，科研人员一直致力于研究蔬菜中硝酸盐污染及其控制途径 (刘永刚等, 2006)，提出了合理施用氮肥、选择适宜采收期 (Pasda et al., 2001; 王正银等, 2003; 韩

收稿日期：2012-01-30；接受日期：2012-03-19

基金项目：现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-25-C-04)

作者简介：宋世威，副教授，专业方向：蔬菜生理与分子生物学，E-mail: swsong@scau.edu.cn

* 通讯作者 (Corresponding author)：陈日远，教授，专业方向：蔬菜生理与分子生物学，E-mail: rychen@scau.edu.cn

德昌等, 2005)等降低硝酸盐含量的措施, 并对硝酸盐吸收机理进行了大量的研究(Stitt et al., 2002; Rachmilevitch et al., 2004)。但这些研究及方法都不能从根本上解决蔬菜硝酸盐积累的问题。近年来, 降低蔬菜产品器官硝酸盐含量研究的热点, 已转向挖掘氮素吸收同化基因资源并利用分子生物学途径改良品种, 而实现这一目标的基础是筛选蔬菜低硝酸盐含量的基因型。叶菜类蔬菜的产品器官易积累硝酸盐, 以往人们对普通白菜(小白菜)(汪李平等, 2004; 都韶婷等, 2008)和菠菜(王西娜等, 2005)等典型叶菜的硝酸盐积累规律进行了研究, 发现不同品种间的硝酸盐含量具有明显的差异。

菜薹(*Brassica campestris* L. var. *utilis* Tsen et Lee)别名菜心, 是十字花科芸薹属芸薹种一二年生草本植物, 是华南地区种植面积和产量都最大的特产蔬菜(蔡绵聪等, 2010)。菜心质嫩味佳, 风味独特, 食用方便, 深受消费者喜爱。但是研究表明, 菜心极易富集硝酸盐, 其含量居于供试的各类蔬菜之首(黄绍宁等, 2002)。菜心的食用器官包含薹茎和叶片两部分, 硝酸盐在两器官中的积累规律明显不同。因此有必要研究不同基因型菜心不同器官中硝酸盐的积累规律。菜心具有丰富的种质资源, 不同品种在熟性、生长状况及营养品质等方面具有基因型差异(宋世威等, 2011)。在此基础上, 进一步研究菜心不同器官的硝酸盐含量并进行聚类分析, 筛选出不同硝酸盐积累的基因型, 不仅为研究氮素吸收代谢机制和分子调控奠定基础, 还为菜心品质育种(低硝酸盐积累)和优质生产提供依据。

1 材料与方法

试验在华南农业大学蔬菜试验基地塑料大棚内进行, 供试的41个菜心品种名称见表1。2010年8月30日穴盘育苗, 基质为珍珠岩, 待幼苗三叶一心时定植于1/2 Hoagland营养液中。每水培盆装营养液5.5 L, 营养液pH值保持在6.2左右, 每7 d更换1次, 采用通气泵每隔30 min通气15 min。每盆定植6株, 作为1个重复, 每个品种3次重复, 随机区组排列, 采用常规方法栽培管理。菜心达到商品标准时(即齐口花)采收, 始收期为10月16日, 成熟期为从播种到采收时的天数。称取菜心的地上部鲜质量记为生物量。分别取第4节以上的叶片和薹茎, 切碎、混匀后准确称取2 g鲜样, 采用水杨酸比色法(李合生, 2000)测定硝酸盐含量。

采用系统聚类法对菜心硝酸盐含量进行聚类分析, 以欧氏距离平方作为品种间距离, 以组间连接为聚类方法, 建立品种聚类分析树状图。试验数据的统计分析采用SPSS 14.0软件, 方差分析采用Duncan方法, 相关分析采用偏相关分析方法。

2 结果与分析

2.1 不同菜心品种的熟性与生物量

41个菜心品种的熟性和生物量(地上部鲜质量)有明显差异(表1)。在本试验条件下, 将成熟期 ≤ 50 d的菜心品种定义为早熟品种(18个), 51~55 d的为中熟品种(19个), > 55 d的为晚熟品种(4个)。早熟品种的生物量平均为 $34.9 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$, 最小仅为 $21.7 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$; 中熟品种平均为 $59.4 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$; 晚熟品种平均为 $93.6 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$, 最大达到 $105.6 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 。

菜心的生物量与成熟期的相关分析表明, 两者呈极显著正相关(图1)。晚熟品种的生物量最大, 中熟品种的生物量居中, 早熟品种的生物量较小。

2.2 不同菜心品种的硝酸盐含量

不同品种菜心硝酸盐含量差异显著, 并且薹茎和叶片中的含量差异明显(表1)。供试的41个菜心品种叶片硝酸盐含量变幅在 $226 \sim 4018 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 比较分散, 最高含量是最低的17.8倍; 薹茎硝酸盐含量分布比较均匀, 在 $1662 \sim 5022 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 最高含量是最低的3.0倍。

表 1 不同菜心品种的成熟期、生物量及硝酸盐含量

编号	品种名称	成熟期/d	地上部鲜质量/g · 株 ⁻¹	硝酸盐/mg · kg ⁻¹	
				叶片	薹茎
1	四九-19号菜心	46	39.0 ± 1.2 efg	2 820 ± 113 p	4 325 ± 43 n
2	澳洲 008 全年油绿甜菜心	54	53.0 ± 2.6 ij	500 ± 11 cde	1 662 ± 10 a
3	绿宝 701	50	36.8 ± 1.5 cdefg	3 357 ± 77 rs	4 814 ± 37 p
4	绿宝 70 天	52	28.5 ± 2.0 ab	1 873 ± 19 m	4 713 ± 27 op
5	油绿 501 菜心	54	74.3 ± 6.9 pq	982 ± 100 gh	2 897 ± 21 h
6	天翠柳叶油青菜心	48	21.7 ± 1.1 a	2 888 ± 48 pq	5 022 ± 91 q
7	JTS-005	47	36.9 ± 2.8 cdefg	3 237 ± 27 r	4 263 ± 20 mn
8	世纪快大(黄叶四九)甜菜心	46	38.5 ± 1.2 defg	3 910 ± 641 t	4 794 ± 61 p
9	碧绿粗薹菜心	47	35.9 ± 0.8 cdef	3 307 ± 74 rs	4 252 ± 68 mn
10	美眉 3 号菜心	48	31.5 ± 2.5 bed	1 904 ± 21 m	4 364 ± 82 n
11	油青 12 号早菜心	46	25.5 ± 2.1 ab	3 338 ± 53 rs	4 279 ± 119 mn
12	油绿粗薹菜心	52	51.5 ± 3.1 ij	596 ± 47 ef	1 811 ± 52 ab
13	31 号甜菜心	50	64.9 ± 2.0 lmn	1 794 ± 52 lm	3 658 ± 45 kl
14	广东四九菜心	54	71.0 ± 2.5 nop	1 682 ± 100 l	3 263 ± 53 j
15	翡翠菜心王	48	27.8 ± 1.8 ab	1 421 ± 118 k	4 592 ± 4 o
16	47 号油青甜菜心	46	31.1 ± 1.8 bed	3 037 ± 50 q	3 695 ± 48 l
17	名优 308 超冠甜菜心王	48	30.1 ± 0.8 bc	1 164 ± 37 ij	2 612 ± 30 ef
18	华绿早熟油青菜心	48	28.4 ± 1.2 ab	4 018 ± 52 t	3 480 ± 60 k
19	柳叶 50 天菜心	49	49.5 ± 1.9 hi	2 390 ± 15 n	3 673 ± 33 kl
20	JTS-008	56	85.3 ± 3.8 r	1 305 ± 25 jk	2 906 ± 71 h
21	森宝 701 柳叶菜心	52	44.1 ± 0.7 gh	923 ± 39 g	4 092 ± 30 m
22	天绿(711)特油青菜心	50	32.7 ± 1.0 bcde	454 ± 25 bcde	2 838 ± 74 gh
23	30 号油青菜心	52	58.4 ± 1.5 jkl	294 ± 29 ab	2 197 ± 65 c
24	油青 60 天菜心	54	85.2 ± 2.0 r	1 629 ± 53 l	2 895 ± 33 h
25	油绿菜心 701	51	66.2 ± 1.4 mno	393 ± 21 bed	1 866 ± 74 ab
26	东莞白沙油青 70 天甜菜心	56	103.3 ± 1.6 s	408 ± 17 bed	2 693 ± 25 fg
27	东莞 70 天尖叶菜心	53	60.2 ± 1.7 klm	686 ± 23 f	1 785 ± 121 ab
28	东莞 70 天油青菜心	52	42.6 ± 1.1 fgh	2 897 ± 15 pq	2 467 ± 61 de
29	中国 50 天(特级甜菜心)	46	25.7 ± 0.9 ab	3 441 ± 70 s	3 037 ± 115 hi
30	酒店 50 天油青甜菜心	46	35.8 ± 1.2 cdef	3 333 ± 13 rs	3 292 ± 67 j
31	80 天油青菜心	53	62.2 ± 2.0 klm	559 ± 17 def	2 191 ± 111 c
32	油绿 802 菜心	54	72.9 ± 3.3 op	2 607 ± 42 o	3 175 ± 57 ij
33	油绿 80 天	52	57.5 ± 2.0 jk	1 112 ± 45 hi	2 272 ± 58 cd
34	迟心 2 号菜心	60	80.0 ± 1.6 qr	226 ± 19 a	1 910 ± 27 b
35	翠绿 80 天菜心	55	81.7 ± 3.4 r	1 776 ± 33 lm	2 283 ± 46 cd
36	东莞坡头 80 天油青菜心	52	42.8 ± 2.2 fgh	1 649 ± 82 l	3 261 ± 34 j
37	东莞 80 天油青菜心	56	105.6 ± 3.0 s	605 ± 46 ef	2 561 ± 50 ef
38	澳洲特靚 80 天油青甜菜心	52	71.1 ± 1.2 nop	366 ± 17 abc	2 296 ± 35 cd
39	特选种 80 天特青菜心	54	58.4 ± 0.6 jkl	548 ± 38 def	2 208 ± 86 c
40	80 天油青甜菜心	52	47.5 ± 2.3 hi	963 ± 59 gh	2 364 ± 141 cd
41	迟心粗条 90 天油绿甜菜心	48	36.9 ± 1.7 cdefg	292 ± 27 ab	1 697 ± 66 a

注: 表中数据为平均值 ± 标准误, 同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($\alpha=0.05$)。

41 个菜心品种中有 37 个品种的薹茎硝酸盐含量明显高于叶片, 两者的比值在 1.22 ~ 8.46 之间, 平均为 3.08; 只有 4 个品种的薹茎硝酸盐含量略低于叶片, 两者的比值在 0.85 ~ 0.99 之间, 平均为 0.90。表明菜心的薹茎比叶片更易积累硝酸盐。

2.3 不同菜心品种硝酸盐含量的聚类分析

依据不同菜心品种的薹茎和叶片硝酸盐含量建立聚类分析树状图(图 2), 在欧氏距离 12.5

处将供试 41 个菜心品种分为 3 大类群。

第 I 类群包括 18 个菜心品种,属低硝酸盐含量类群。这一类群菜心叶片和薹茎平均硝酸盐含量分别为 $636 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $2\,265 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 平均生物量为 $63.0 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$, 属于高水平。其中 34 号迟心 2 号菜心在 41 个品种中成熟期最长, 但叶片硝酸盐含量却最低; 2 号澳洲 008 全年油绿甜菜心薹茎中硝酸盐含量最低, 只有 $1\,662 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

第 II 类群包括 11 个品种, 属高硝酸盐类群, 又可分为 2 个亚群。这一类群菜心叶片和薹茎的平均硝酸盐含量分别为 $3\,335 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $4\,114 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 平均生物量为 $32.3 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$, 属于低水平。II-1 亚群包括 3 个品种, 即 18 号华绿早熟油青菜心、29 号中国 50 天(特级甜菜心)、30 号酒店 50 天油青甜菜心, 此亚群叶片与薹茎的平均硝酸盐含量差异不明显, 分别为 $3\,597 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $3\,270 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 18 号华绿早熟油青菜心是叶片硝酸盐含量最高的品种, 为 $4\,018 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。II-2 亚群包括 8 个品种, 其中 6 号天翠柳叶油青菜心是薹茎硝酸盐含量最高的品种, 达 $5\,022 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

第 III 类群包括 12 个品种, 属中硝酸盐类群, 又可分为两个亚群。这一类群菜心叶片和薹茎的平均硝酸盐含量分别为 $1\,879 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $3\,536 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 平均生物量为 $53.5 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$, 属于中等水平。III-1 亚群菜心叶片和薹茎的硝酸盐含量分别为 $1\,530 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $4\,440 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。III-2 亚群菜心叶片和薹茎平均硝酸盐含量分别为 $2\,053 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $3\,084 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

3 结论与讨论

菜心的生物量与成熟期呈极显著正相关: 生育期长的晚熟品种的生物量最大, 生育期短的早熟品种的生物量较小。本试验在相同的播种期条件下获得这一结果, 表明菜心的生物量与环境的积温密切相关。

菜心极易富集硝酸盐, 其含量高于供试的其他各类蔬菜(黄绍宁等, 2002)。主要原因是菜心生长周期短、复种指数高, 生产者往往过量施肥(特别是氮肥), 导致其对氮素的过量吸收而造成体内硝酸盐过量积累。菜心的产品器官包括叶片和薹茎两部分, 但一般其叶片的生物量大于薹茎, 因此常被看作是叶菜类蔬菜。菠菜(王西娜等, 2005)、普通白菜(小白菜)(都韶婷等, 2008)和大白菜(王芳等, 2009)叶柄的硝酸盐含量明显高于叶片, 原因可

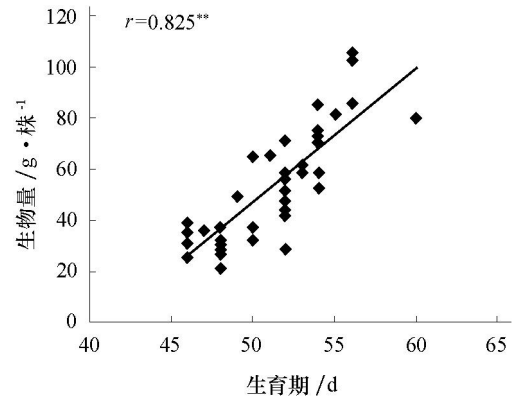


图 1 不同菜心品种的熟性和生物量的相关性

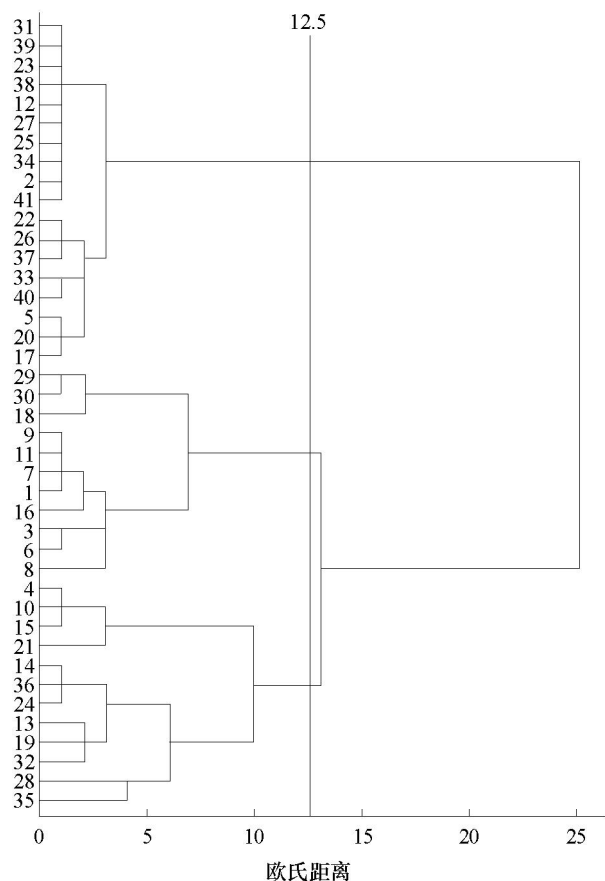


图 2 不同菜心品种硝酸盐含量的聚类分析树状图

图中各编号所对应的品种名称见表 1。

能是硝态氮难以在叶柄中被还原(刘忠等, 2006)。菜心的薹茎与其他叶菜的叶柄属不同器官, 其硝酸盐含量高于叶片, 是否是由于薹茎中硝酸盐难以被还原同化, 还需要深入研究。

本试验中不同品种菜心的硝酸盐含量差异显著。不同品种和普通白菜(汪李平等, 2004; 都韶婷等, 2008)和菠菜(王西娜等, 2005)的硝酸盐含量也具有明显的差异。研究认为, 不同基因型普通白菜和菠菜中硝酸盐含量存在差异的原因可能有两个: 一是根系吸收硝酸盐的速率的差异; 二是硝酸盐还原能力的差异(艾绍英等, 2000; 汪李平等, 2004)。硝酸盐和硝酸还原酶在细胞中分布的不一致性, 也是造成硝酸盐在植物体内累积的一个重要原因(Crawford & Glass, 1998)。因此蔬菜积累硝酸盐的根本原因是硝态氮吸收与还原转化之间的不平衡。

有研究认为, 蔬菜不同品种间硝酸盐含量差异的主要原因是植株生物量的差异及生长速率的差异(Terman & Allen, 1978; Bremer, 1982)。通过聚类分析可以得出, 菜心的硝酸盐含量与生物量密切相关, 即生物量低的品种硝酸盐含量高, 生物量高的品种硝酸盐含量低, 生物量中等的品种硝酸盐含量也处于中等水平。生物量低的菜心体内积累高水平的硝酸盐, 可能是由于其氮素的同化性能较低而造成硝酸盐在液泡内的积累, 也可能是由于其氮素利用效率较低、形成生物量小而造成硝酸盐的富集; 生物量高的菜心体内硝酸盐含量较低, 可能的原因刚好相反。但具体机制需要从不同类型菜心对硝酸盐的吸收、同化方面进行深入研究。

参考文献

- 艾绍英, 李生秀, 唐栓虎, 姚建武. 2000. 两种菠菜累积硝酸盐特性差异的研究. 土壤与环境, 9(4): 274-276.
- 蔡绵聪, 李淑仪, 陈真元, 廖新荣, 孔祥流, 王荣萍, 蓝佩玲, 冯露微. 2010. 菜心氮磷钾施肥效应研究. 土壤通报, 41(1): 126-132.
- 都韶婷, 李玲玲, 章永松, 林咸永. 2008. 不同基因型小白菜硝酸盐积累差异及筛选研究. 植物营养与肥料学报, 14(5): 969-975.
- 韩德昌, 陈妍, 关连珠, 王雷, 颜丽. 2005. 氮肥种类及用量对油菜硝酸盐累积的影响. 中国农学通报, 21(5): 292-294.
- 黄绍宁, 沈华山, 吴华明, 赵全良. 2002. 几种叶菜类蔬菜的硝酸盐和亚硝酸盐含量初探. 广东农业科学, 29(2): 21-22.
- 李合生. 2000. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社.
- 刘永刚, 陈利军, 武志杰. 2006. 蔬菜中硝酸盐的积累机制及其调控措施. 土壤通报, 37(3): 612-616.
- 刘忠, 王朝辉, 李生秀. 2006. 硝态氮难以在菠菜叶柄中还原的原因初探. 中国农业科学, 39(11): 2294-2299.
- 宋世威, 伊灵燕, 刘厚诚, 孙光闻, 陈日远. 2011. 不同菜心品种产量及品质性状聚类分析. 广东农业科学, 38(11): 56-58.
- 王芳, 王树忠, 朱莉, 刘颀, 刘妹言, 李皓, 范艳艳, 高丽红. 2009. 十字花科4种蔬菜硝酸盐与亚硝酸盐含量分析与评价. 中国蔬菜, (14): 17-22.
- 王西娜, 王朝辉, 陈宝明, 李生秀. 2005. 不同品种菠菜叶柄和叶片的硝态氮含量及其与植株生长的关系. 植物营养与肥料学报, 11(5): 675-681.
- 王正银, 李会合, 李宝珍, 叶学见, 孙彭寿, 戴亨林, 向天常. 2003. 氮肥、土壤肥力和采收期对小白菜体内硝酸盐含量的影响. 中国农业科学, 36(9): 1057-1064.
- 汪李平, 向长萍, 王运华. 2004. 白菜不同基因型硝酸盐含量差异的研究. 园艺学报, 31(1): 43-46.
- Bartsch H, Ohshima H, Pignatelli B. 1988. Inhibitors of endogenous nitrosation mechanisms and implications in human cancer prevention. Mutation Research, 202(2): 307-324.
- Bremer T. 1982. Environmental factors and cultural measures affecting the nitrate content in spinach. Fertilizer Research, 3(3): 191-292.
- Crawford N M, Glass A D M. 1998. Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants. Trends Plant Science, 3(10): 389-395.
- Kelley J R, Duggan J M. 2003. Gastric cancer epidemiology and risk factors. Journal of Clinical Epidemiology, 56(1): 1-9.
- Pasda G, Hahnldel R, Zerulla W. 2001. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3, 4-dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. Biology and Fertility of Soils, 34(2): 85-97.
- Rachmilevitch S, Cousins A B, Bloom A J. 2004. Nitrate assimilation in plant shoots depends on photorespiration. PNAS, 101(31): 11506-11510.
- Stitt M, Müller C, Matt P, Gibon Y, Carillo P, Morcuende R, Scheible W R, Krapp A. 2002. Steps towards an integrated view of nitrogen metabolism. Journal of Experimental Botany, 53(370): 959-970.
- Terman G L, Allen S E. 1978. Crop yield-nitrate-N, total N, and total K relationships: leafy vegetables. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 9(9): 813-825.