植物营养与肥料学报 2008,14(5):969-975
Plant Nutrition and Fertilizer Science

不同基因型小白菜硝酸盐积累差异及筛选研究

都韶婷[1,2],李玲玲[1],章永松[1*],林咸永[1]
(1 浙江大学环境与资源学院,教育部环境修复与生态健康重点实验室,浙江省亚热带土壤与植物营养重点实验室,浙江杭州 310029;2 浙江工商大学环境工程系,杭州 310035)

摘要:采用溶液培养方法研究了43种基因型小白菜在不同硝铵比条件下体内硝酸盐含量的变化情况。结果表明,不同基因型小白菜的硝酸盐含量差异较大,东妃青梗菜、上海白叶四月蔓和夏优高抗为低硝酸盐含量基因型小白菜,而高雄甜脆小白菜、宝大矮棋青和苏州青为高硝酸盐含量基因型小白菜。硝铵比50/50是最适宜筛选的氮素形态比例,而叶片中的硝酸盐含量也是最适宜的筛选指标。对上述6个基因型小白菜进一步分析结果表明,不同部位硝酸还原酶、根系硝态氮最大吸收速率以及亲和力这三个因素对小白菜各部位的硝酸盐积累都有显著的影响,但在不同部位,这三个因素所起的贡献率不同。

关键词:小白菜;硝酸盐;基因型差异;筛选
中图分类号:S634.3.601　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2008)05-0969-07

Nitrate accumulation discrepancies and variety selection in different Chinese cabbage (*Brassica chinensis* L.) genotypes

DU Shao-ting[1,2], LI Ling-ling[1], ZHANG Yong-song[1*], LIN Xian-yong[1]
(*1 Ministry of Education Key Laboratory of Environmental Remediation and Ecoxystem Health, Zhejiang Provincial Key Laboratory of Subtropic Soil and Plant Nutrition, College of Natural Resource and Environment Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; 2 Department of Environmental Engineering, Zhejiang Gongshang Univeristy, Hangzhou 310035, China*)

Abstract: Hydroponic experiments were carried out to study the nitrate accumulation of 43 Chinese cabbage genotypes under the nutrient solution of different NO_3^-/NH_4^+ ratio. The results indicated that the discrepancies in nitrate contents among different genotypes were significant, and accordingly, Dongfei, Shanghai baiye and Xiayou gaokang as the low nitrate concentration genotypes, and Gaoxiong tiancui, Baoda aiqi, Suzhouqing as the high nitrate concentration genotypes were screened out. Here, the nitrogen source of NO_3^-/NH_4^+ 50/50 and the nitrate content in leaves can be considered as the best nutrient solution and index for nitrate accumulation screening. Further study on these six genotypes of Chinese cabbage suggested that the effects of nitrate reductase, maximum nitrate uptake and affinity on nitrate accumulation were significant, while showed different contribution in different part of plants.

Key words: Chinese cabbage; nitrate; genotypic differences; screen

蔬菜是高硝酸盐积累的植物,尤其是茎叶类蔬菜,其硝酸盐含量普遍较高。早期的一些研究发现,摄入硝酸盐含量较高的蔬菜会增加人体患肠胃癌、高铁血红蛋白症等疾病的几率[1-2]。因此,蔬菜硝酸盐含量一直是人们十分关注的问题,其含量高低则被看成是衡量蔬菜质量的一个重要指标。许多研究表明,不同种类的蔬菜硝酸盐累积差异很大,即使同一品种蔬菜体内积累的硝酸盐也会因基因型的差异而存在较大差别,有些甚至相差好几倍。一些报道指出,胡萝卜、莴苣、块根芹、菠菜基因型间硝酸盐含

收稿日期:2007-05-31　　接受日期:2007-08-31
基金项目:教育部创新团队计划(IRT0536);国家重点基础研究发展计划(2002CB410806);国家自然科学基金项目(30571083);科技部支撑项目(2006BAD05B03)资助。
作者简介:都韶婷(1980—),女,浙江海宁人,博士,主要从事蔬菜硝酸盐吸收与积累的生理学机理及环境影响因素方面的研究。
* 通讯作者 Tel:0571-86021147, E-mail:yszhang@zju.edu.cn

量的差异都很显著[3-4]，例如，对芥菜和苋菜的硝酸盐含量遗传研究发现，不同基因型间的硝酸盐含量相差1倍以上[5]。陈振德等[6]曾研究大白菜的基因型差异，结果表明，大白菜硝酸盐含量基因型差异变幅可达1600 mg/kg，FW。由此可见，同一蔬菜不同基因型间硝酸盐含量的差异较为明显，通过筛选的方法找出某种蔬菜的低硝酸盐含量基因型来进行推广生产，改善消费者的饮食健康是有必要并且是可行的。

在南方地区，小白菜（*Brassica Chinensis* L.）是目前最为普遍的食用性蔬菜，然而其基因型筛选的相关研究并未见报道，因此有必要开展小白菜硝酸盐积累差异筛选。关于蔬菜硝态氮累积的机理研究较多，但论点不一。究其原因，硝酸盐含量主要是与硝酸还原酶活性直接相关，同时也与硝酸盐的吸收、转化过程相关联。不同基因型因环境变化会表现出不同的变化趋势[7]，即便氮源供应类型不同也会对硝酸盐的吸收、转化过程产生基因型差异[8]。因而仅用单一的氮源类型来研究蔬菜硝酸盐含量基因型差异是不够的。本试验收集了43个小白菜基因型，采用不同硝铵比条件处理，研究各基因型硝酸盐含量变化趋势，筛选出不同处理条件下硝酸盐含量较为一致的基因型，并探究各基因型硝酸盐含量差异的成因，以期为今后硝酸盐积累生理机制差异研究提供试验材料，为生产上选育低硝酸盐含量品种以及如何调控蔬菜硝酸盐含量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 硝酸盐积累基因型的筛选

试验采用溶液培养方法进行。设4个NO_3^-/NH_4^+比处理，分别为25/75、50/50、75/25、100/0。供试小白菜（*Brassica chinensis* L.）为从全国各地收集的43个基因型（表1）。培养时间为2004年12月至2005年1月。营养液中N水平为16 mmol/L，其他大量元素按霍格兰营养液配方，微量元素按Arnon配方。种子经消毒、洗净后于25℃浸种一昼夜，在砂盘上育苗，3片真叶时移栽至50 L的水槽中培养，每个水槽种植43个基因型，每个基因型重复3次，总计12个水槽。先用1/2浓度营养液培养7 d，然后采用全浓度营养液培养，营养液pH值调节至5.8～6.0，每周更换1次。采用气泵和砂芯充气头对营养液进行连续通气。培养8周后取样，洗净吸干后，按叶、叶柄分开，取部分具有代表性植株的中位叶、叶柄用于硝酸盐测定；植株中硝酸盐含量采用水杨酸法[9]测定。

表1 供试小白菜品种

Table 1 Test varieties of Chinese cabbage

编号 Code	基因型 Genotypes	编号 Code	基因型 Genotypes	编号 Code	基因型 Genotypes
1	抗热605青菜 Kangre 605	16	上海青 Shanghaiqing	31	利丰青梗 Lifeng qinggen
2	矮脚大头青江 Aijiao datou qingjiang	17	沪王青 Huwangqing	32	抗热青 Kangreqing
3	青江小白菜 Qingjiang	18	矮箕青菜 Aiqi	33	红明青 Hongmingqing
4	迟花矮脚黑叶 Chihua aijiao heiye	19	东妃青梗菜 Dongfei	34	矮抗青 Aikangqing
5	东方502四季小白菜 Dongfang 502	20	新世纪小白菜 Xinshiji	35	虹明青 Hongmingqing
6	高雄甜脆小白菜 Gaoxiong tiancui	21	温州蚕白菜 Wenzhoucan	36	嘉兴矮脚 Jiaxing aijiao
7	91-1油菜 Cole 91-1	22	黑叶四月慢菜 Heiye siyueman	37	夏青青梗 Xiaqing qinggen
8	矮脚葵扇黑叶 Aijiao kuishan heiye	23	申宝青二号 Shenbaoqing 2	38	广研特制青江 Guangyan tezhi qingjiang
9	夏优高抗 Xiayou gaokang	24	伏豹抗热青 Fubao kangre	39	味爽青菜 Weishuang
10	华青千禧 Huaqing qianxi	25	抗热杂交小白菜 Kangre zajiao	40	夏清 Xiaqing
11	超纯四季小白菜 Chaochun siji	26	青优四号小白菜 Qiyou 4	41	高华青梗白菜 Gaohua qinggen
12	绿星青菜 Luxing	27	宝大矮棋青 Baoda aiqiqing	42	日本皇冠 Japanese huangguan
13	杭州长梗白菜 Hangzhou changgen	28	五月慢 Wuyueman	43	上海白叶四月蔓 Shanghai siyueman
14	上海矮抗青 Shanghai aikangqing	29	四月慢 Siyueman		
15	苏州青 Suzhouqing	30	杭州油冬儿 Hangzhou youdonger		

1.2 吸收动力学研究及硝酸还原酶测定

根据筛选结果，从中选取东妃青梗菜、上海白叶四月蔓和夏优高抗作为低硝酸盐含量基因型，高雄甜脆小白菜、宝大矮棋青和苏州青作为高硝酸盐含量基因型进行动力学吸收试验。育苗方法同上，移栽后用1/2浓度完全营养液培养，NO_3^-/NH_4^+比为50/50。在

以上营养液中培养 14 d 后，将小白菜幼苗转移至体积为 120 mL 的玻璃瓶中，每个基因型各 5 株幼苗为一组，重复 4 次。用 0.2 mmol/L $CaSO_4$ 溶液饥饿培养 3 d，随后将幼苗移入 1 mmol/L KNO_3，0.2 mmol/L $CaSO_4$ 的溶液中进行耗竭吸收试验。在 27℃温度和 10000 lx 光照下连续吸收 12 h，每小时取样测定吸收液 NO_3^- 浓度 1 次，最后测定鲜根重，以单位时间每克鲜根吸收量来表示吸收速率。根系硝态氮最大吸收速率(Vmax)和亲和力常数(Km)计算参考 Barbar 的方法[10]。同时测定相应植株的硝酸盐含量及采用活体法[9]测定硝酸还原酶活性(NRA)。

1.3　数据分析

采用 Origin 7.0 软件对小白菜各基因型间的硝酸盐含量正态分布情况进一步分析，并作图。根据各硝铵比条件下小白菜叶片和叶柄的硝酸盐含量，筛选出各指标均位于正态分布图的前后 10% 之内的基因型，分别定义为硝酸盐低积累和高积累基因型。应用 Excel 软件，对硝酸盐含量与硝酸还原酶活性、最大吸收速率以及亲和力常数之间进行相关性分析，并用 Kyplot 软件作图。

2　结果与分析

2.1　不同基因型小白菜硝酸盐含量的差异

不同硝铵比处理下小白菜叶片、叶柄硝酸盐含量的次数分布见图 1。结果表明，不同基因型小白菜硝酸盐含量差异较为显著。NO_3^-/NH_4^+ 100/0 处理下各基因型小白菜叶片硝酸盐含量分布比较均匀，43 个基因型都在 2000～5000 mg/kg，FW 之间。NO_3^-/NH_4^+ 75/25 处理下，30 个基因型集中在 2600～3400 mg/kg，FW 区域，且叶片硝酸盐总体水平明显低于前一处理。NO_3^-/NH_4^+ 50/50 处理中虽有 29 个基因型在 2000～3500 mg/kg，FW 间波动，但是其变幅最大，差值可达 4000 mg/kg，FW。NO_3^-/NH_4^+ 25/75 处理下叶片硝酸盐含量最低，43 个基因型叶片的硝酸盐含量都小于 3500 mg/kg，FW。

4 个 NO_3^-/NH_4^+ 处理下各基因型小白菜叶柄硝酸盐含量在 3000～8000 mg/kg，FW 之间波动，其中在 4000～6000 mg/kg，FW 区间最为集中；NO_3^-/NH_4^+ 100/0、75/25、50/50、25/75 处理中处于该区间的基因型个数分别有 30、38、31、35 个。说明培养液的 NO_3^-/NH_4^+ 对叶柄中硝酸盐含量的影响比叶片明显要小。由此可见，叶柄应该是小白菜硝酸盐的主要积累部位，在筛选硝酸盐高与低积累基因型时，叶片应该是较为敏感的取样部位。

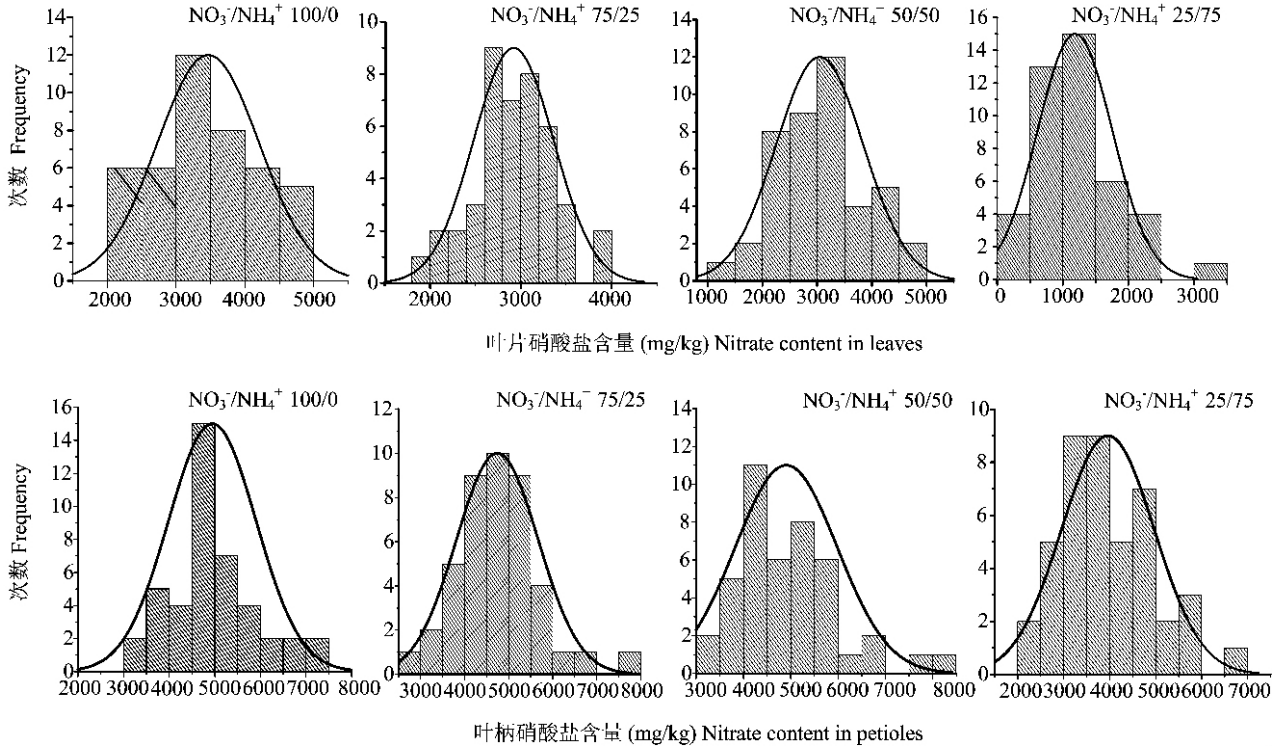

图 1　不同硝铵比处理下各基因型小白菜叶片和叶柄硝酸盐含量次数分布图

Fig.1　Frequency distribution of nitrate contents in different genotypes of Chinese cabbage under different NO_3^-/NH_4^+ ratio

2.2 小白菜硝酸盐积累基因型的筛选

图1结果还表明,小白菜各基因型间的硝酸盐含量存在显著差异,而且硝酸盐含量在4个硝铵比处理下均呈现正态分布,即大部分基因型的硝酸盐含量处于中等水平,只有少数基因型分布在正态分布曲线的两极。以硝酸盐含量为指标,统计分析各硝铵比条件下小白菜的硝酸盐含量,筛选出处于两极的基因型各3种,分别定义为硝酸盐低积累和高积累基因型。低积累基因型为:①东妃青梗菜(19号);②上海白叶四月蔓(43号);③夏优高抗(9号)。高积累基因型为:④高雄甜脆小白菜(6号);⑤宝大矮棋青(27号);⑥苏州青(15号)。

图2是硝酸盐高积累和低积累基因型小白菜在不同硝铵比处理下叶片和叶柄的硝酸盐含量及鲜重变化图。结果表明,高积累基因型的硝酸盐含量与低积累基因型相比可以相差近一倍,尤其是在NO_3^-/NH_4^+为50/50处理下两组基因型差异最大。3个低积累基因型叶片和叶柄中的硝酸盐含量均随硝铵比减小而降低。从图2C和D可以看出,低硝铵比营养液对6个基因型的生长均表现出明显的抑制作用,对多数基因型而言,硝铵比为50/50和75/25较有利于小白菜的生长,若从降低蔬菜硝酸盐的角度考虑,NO_3^-/NH_4^+ 50/50是较为适宜的农用栽培比例。

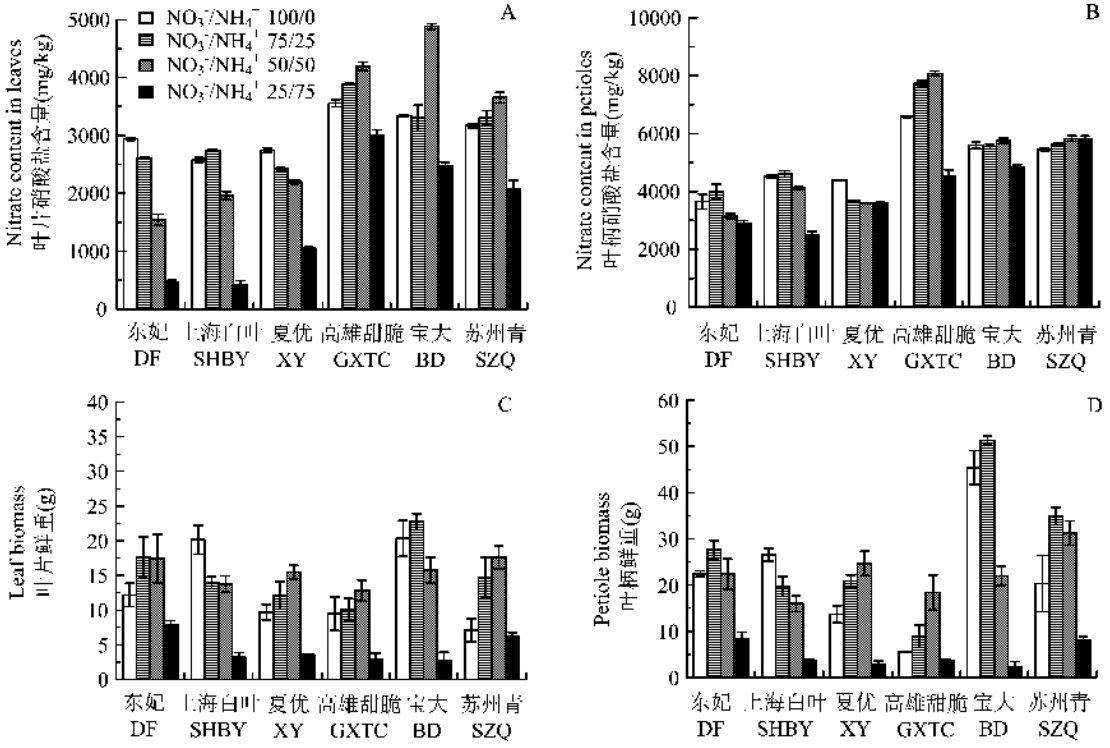

图2 不同硝铵比处理下高、低硝酸盐含量基因型小白菜的硝酸盐含量和鲜重变化

Fig.2 Nitrate content and biomass of high and low nitrate accumulated genotypes of Chinese cabbage under different NO_3^-/NH_4^+ ratio

2.3 硝酸还原酶、Km、Vmax与小白菜硝酸盐含量的关系

图3分别是6个不同基因型小白菜叶片、叶柄和根系硝酸盐含量与相应部位的硝酸还原酶活性(NRA)、根系硝态N最大吸收速率(Vmax)和亲和力常数(Km)间的相关性分析。结果表明,叶片NRA、Vmax、Km值与其硝酸盐含量均显著相关;而叶柄的硝酸盐含量与Vmax、Km值极显著相关,与NRA无相关性;根系的硝酸盐含量仅与Vmax相关。

3 讨论

Reinink[7]在研究环境与莴苣硝酸盐含量间的交互作用中指出,不同的基因型对环境的变化表现存在明显差异。艾绍英等[11]利用^{15}N示踪技术研究了硝铵营养对蔬菜体内的硝酸盐积累的影响指出,增加铵的比例有利于降低蔬菜中的硝酸盐积累;陈巍等[12]也认为,适当地配施铵态氮较纯硝营养液能获得较低的硝酸盐积累。小白菜基因型间对硝态氮或

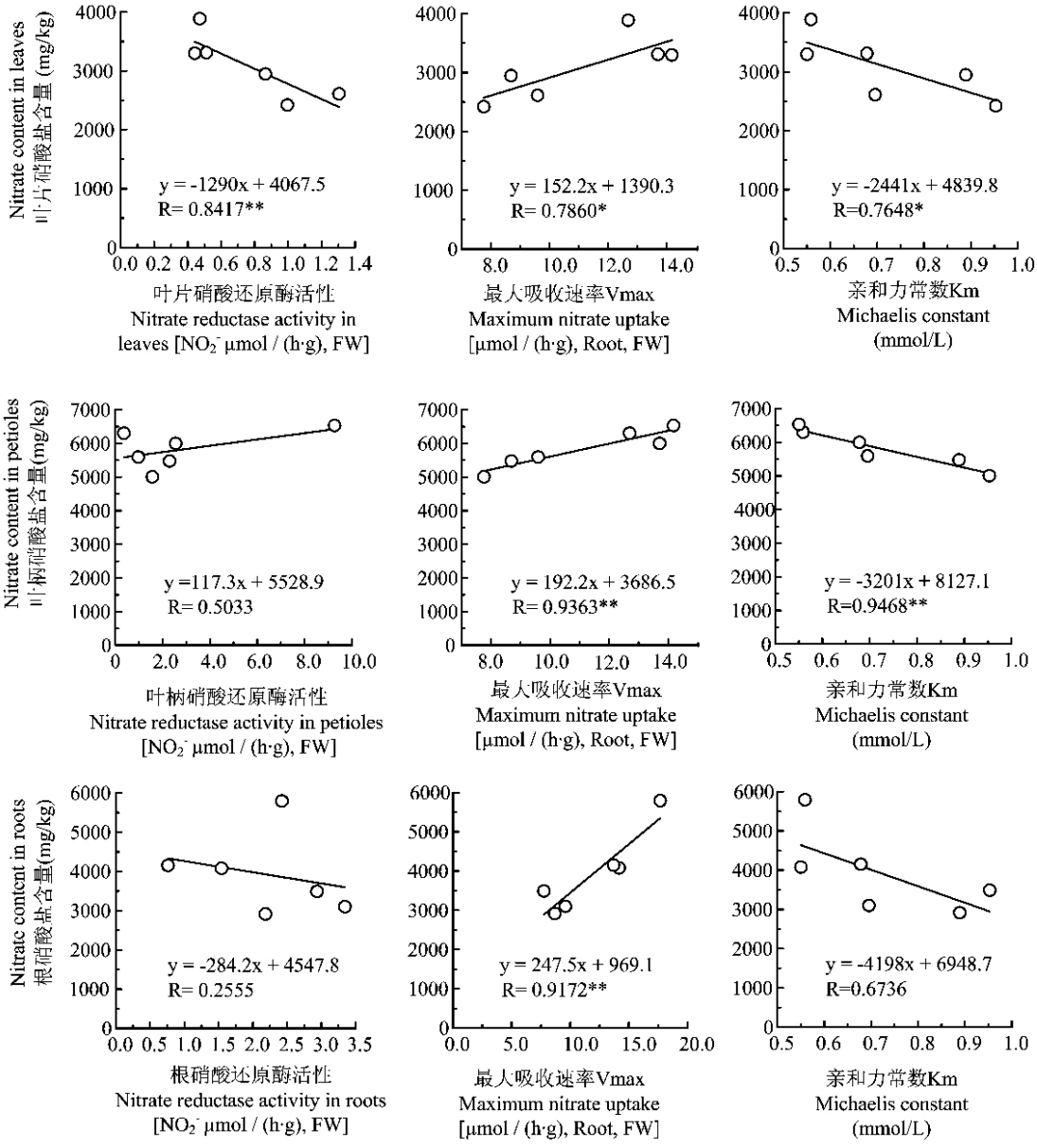

图 3　极端硝酸盐含量基因型小白菜硝酸盐含量及各生理指标相关性分析

Fig.3　Relativity analysis on nitrate content and other physiological indexes in extreme nitrate concentration genotypes of Chinese cabbage

铵态氮利用的差异，也会导致各硝铵比处理下硝酸盐含量的较大变化。本试验中也有少数基因型在 NO_3^-/NH_4^+ 50/50 处理下硝酸盐含量可达 4000～5000 mg/kg，FW，表现出个别差异。因此，若用单一的硝铵比营养液进行筛选，可能会漏掉某些重要信息，得到一些错误的结论。土壤条件不一致性也需要我们以不同的硝铵比营养液进行筛选，找出各硝铵比条件下硝酸盐含量均处于两极的基因型。但是在本试验 NO_3^-/NH_4^+ 50/50 处理下，硝酸盐含量的变幅最大，在大规模筛选条件无法满足的情况下，可以此作为小白菜硝酸盐积累筛选的首选营养液配方。此外，小白菜叶片中硝酸盐含量显著低于叶柄，但不同硝铵比处理下硝酸盐含量变化以及硝酸盐含量的基因型差异却更为明显，由此推断硝酸盐含量基因型差异的关系应该是叶片 > 叶柄。因此，叶片中的硝酸盐可以作为液培筛选的首选指标。

汪李平等[13]研究了 28 份不同基因型的白菜硝酸盐含量差异，证明了白菜硝酸盐含量较高和较低

的两极类群的品种表现稳定,基因型差异可以稳定遗传。因此,我们以硝酸盐含量为指标,统计分析各硝铵比条件下小白菜的硝酸盐含量,筛选出不同硝酸盐积累程度的基因型,不仅可以为今后的生理研究提供基础材料,而且也可以给农业生产和大众提供指导。东妃青梗菜、上海白叶四月蔓、夏优高抗的硝酸盐含量在各个硝铵比处理下均较低;而高雄甜脆小白菜、宝大矮棋青、苏州青硝酸盐含量在各个硝铵比处理下都很高。WHO 规定人体硝酸盐允许日摄入量(ADI)为 0～0.37 mg/kg,体重,但日常生活中人们摄入的硝酸盐总是超标[14]。蔬菜是人体摄入硝酸盐的主要来源,其贡献率高达 30%～90%。如果按人均每日食用新鲜蔬菜 0.5 kg 计,蔬菜的硝酸盐允许量可为 432 mg/kg。若将因盐渍和烹煮时分别损失 45% 和 75% 计算在内,此限量又可扩大至 785 mg/kg 和 1440 mg/kg[15]。由于本试验中采用的是完全营养液,培养液氮含量较高,而且正值冬季,因此各基因型硝酸盐含量都普遍较高,大多数基因型硝酸盐含量都超过了以上标准。这也更加说明了在某些特殊的易于硝酸盐积累的环境条件下,必须重视小白菜硝酸盐含量超标的现象,针对不同的基因型进行合理的施肥。

遗传因子和环境因素都会影响植物硝酸盐积累的过程,在同一环境条件下遗传因子就起了决定性的作用,从而导致硝酸盐积累生理遗传的基因型差异[3]。许多研究认为,小白菜硝酸盐含量的基因型差异产生的原因可能包括以下两个方面: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[13, 16]。本试验结果表明,硝酸盐含量与 NRA、Vmax、Km 具有较大的相关性。其中叶片硝酸盐含量取决于 NRA、吸收速率和亲和力三方面的影响;而叶柄硝酸盐含量与 Vmax 和 Km 相关性更大,而根系硝酸盐含量则与 Vmax 极显著相关。许多研究认为,蔬菜硝态氮吸收与还原转化不平衡是产生累积的根本原因,而硝酸盐和硝酸还原酶在细胞中存在和分布的非一致性,也是造成硝酸盐在植物体内累积的一个重要原因[17]。董晓英等[18]认为,硝酸盐积累的差异更主要的直接原因是由基因型间吸收硝酸根的速率不同引起的,与硝酸根在其体内的运转、代谢并无显著直接相关。而根据我们的试验结果,影响各部位硝酸盐含量的因素不是单一的,并且存在分别受到一个或几个主因素的调控。在光合作用过程中,叶片中的叶绿素能形成大量还原态的 FADH、NADPH 和含铁氧化还原素等辅酶,它们是硝酸还原酶和亚硝酸还原酶的主要电子传递者,能加速催化硝酸盐和亚硝酸盐的还原作用[5]。因此,相对于吸收而言,叶片中的的硝酸盐转化对于其含量降低起了最主要的作用,硝酸盐含量与其 NRA 极显著相关。也有研究指出,NRA 与代谢库中硝酸盐含量直接显著相关[19]。对于叶柄和根系中的硝酸盐含量而言,NRA 与其硝酸盐含量无显著相关性。叶柄硝酸盐含量与亲和力和吸收速率最为相关,即主要受小白菜吸收离子的能力和潜力调控,而根系硝酸盐含量只与吸收速率即吸收的内在潜力有较大的相关性。Behr[20]认为,吸收能力的基因型差异可能是由于硝酸根离子在植株中的渗透性能不同引起的。

参考文献:

[1] Bartsch H, Ohshima H, Pignatelli B. Inhibitors of endogenous nitrosation: Mechanisms and implications in human cancer prevention [J]. Mutat. Res., 1988, 202: 307-324.

[2] Slob W, Van der Berg R, van Veen M P. A statistical exposure model applied to nitrate intake in the Dutch population. Health aspects of nitrates and its metabolites [M]. Strasbourg: Council of Europe Press, 1995.75-82.

[3] Reinink K, Eenink A H. Genotypical differences in nitrate accumulation in shoots and roots of lettuce [J]. Sci. Hort. 1988, 37: 13-25.

[4] Reinink K, Nes M V, Groenwold R. Genetic variation for nitrate content between cultivars of endive (*Cichorium endiviae* L.) [J]. Euphytica, 1994, 75: 41-48.

[5] 李晓林,张福琐,米国华. 平衡施肥与可持续优质蔬菜生产 [M]. 北京:中国农业出版社,2000.
Li X L, Zhang F S, Mi G H. Balanced fertilization and persistence high quality vegetable production [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000.

[6] 陈振德,陈建美,何金明,等. 不同基因型大白菜硝酸盐积累研究简报 [J]. 山东农业科学,2002,(2):25-26.
Chen Z D, Chen J M, He J M *et al*. Studies on the nitrate accumulation of different Chinese cabbage genotypes [J]. Shandong Agric. Sci., 2002, (2): 25-26.

[7] Reinink K. Genotype x environment interaction for nitrate concentration in lettuce [J]. Plant Breed., 1991, 107(1): 39-50.

[8] 田霄鸿,李生秀. 几种蔬菜对硝态氮、铵态氮的相对吸收能力 [J]. 植物营养与肥料学报,2000,6(2):194-201.
Tian X H, Li S X. Uptake capacity of several vegetable crops to nitrate and ammonium [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2000, 6(2): 194-201.

[9] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京:高等教育出版社,2000.
Li H S. Principle and technology of plant physiological and biochemical experiment [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.

[10] Barber S A. Soil nutrient bioavailability [M]. New York: John Wiley

Sons，Inc，1984.

[11] 艾绍英，姚建武，黄小红，等. 蔬菜硝酸盐的还原转化特性研究[J]. 植物营养与肥料学报，2002，8(1)：40-43.
Ai S Y，Yao J W，Huang X H *et al*. Study on the nitrate reduction characteristics of vegetables plant[J]. Plant Nutr. Fert. Sci.，2002，8(1)：40-43.

[12] 陈巍，罗金葵，姜慧梅，等. 不同形态氮素比例对不同小白菜品种生物量和硝酸盐含量的影响[J]. 土壤学报，2004，41(3)：420-425.
Chen W，Luo J K，Jiang H M *et al*. Effects of different NO_3^--N/NH_4^+-N ratios on the biomass and nitrate content of different cultivars of Chinese cabbages[J]. Acta Pedol. Sin.，2004，41(3)：420-425.

[13] 汪李平，向长萍，王运华. 白菜不同基因型硝酸盐含量差异的研究[J]. 园艺学报，2004，31(1)：43-46.
Wang L P，Xiang C P，Wang Y H. Studies on the nitrate content of different Pakchoi genotypes[J]. Acta Hort. Sin.，2004，31(1)：43-46.

[14] Boink A，Speijers G. Health effects of nitrates and nitrites[J]. Acta Hort.，2001，563：29-36.

[15] 沈明珠，翟宝杰，东惠茹，等. 蔬菜硝酸盐积累的研究Ⅰ. 不同蔬菜硝酸盐、亚硝酸盐含量评价[J]. 园艺学报，1982，9(4)：41-48.
Shen M Z，Zhai B J，Dong H R *et al*. Studies on nitrate accumulation in vegetable crops. I. Evaluation of nitrate and nitrite in different vegetables[J]. Acta Hort. Sin.，1982，9(4)：41-48.

[16] 艾绍英，李生秀，唐栓虎，等. 两种菠菜累积硝酸盐特性差异的研究[J]. 土壤与环境，2000，9(4)：274-276.
Ai S Y，Li S X，Tang S H *et al*. Study on difference in nitrate accumulation characteristic between two spinach varieties[J]. Soil Environ. Sci.，2000，9(4)：274-276.

[17] Crawford N M，Glass A. Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants[J]. Trends Plant Sci.，1998，3(10)：389-395.

[18] 董晓英，李式军，沈仁芳. 白菜不同品种对硝酸盐吸收积累差异原因初探[J]. 园艺学报，2003，30(4)：470-472.
Dong X Y，Li S J，Shen R F. The nitrate uptake and accumulation of Pak-choi[J]. Acta Hort. Sin.，2003，30(4)：470-472.

[19] Chen B M，Wang Z H，Li S X *et al*. Effects of nitrate supply on plant growth，nitrate accumulation，metabolic nitrate concentration and nitrate reductase activity in three leafy vegetables[J]. Plant Sci.，2004，167(3)：635-644.

[20] Behr U，Wiebe H J. Relation between photosynthesis and nitrate content of lettuce cultivars[J]. Sci. Hort.，1992，49：175-179.