

## 采收前停止营养液供给对小白菜生物量及硝酸盐含量的影响

袁艺, 陶婧, 汪骞, 李石开\* (云南省农业科学院园艺作物研究所, 云南昆明 650205)

**摘要** [目的]降低无土栽培蔬菜植株中的硝酸盐含量。[方法]以小白菜苏州青为材料,分别在收获前的3、6和9 d停止营养液供给,转用清水栽培。采收时测定小白菜生理指标、品质指标及叶绿素含量。[结果]在停止营养液供给3、6和9 d后,小白菜单株重分别减少了10.0%、9.2%和22.4%,叶片硝酸盐含量分别降低了61.1%、80.7%和88.1%,叶柄硝酸盐含量分别降低了25.7%、42.2%和57.6%。同时植株的维生素C含量还略有上升。[结论]在小白菜收获前3~6 d停止营养液供给并改用清水栽培能在不太影响产量的同时最大程度降低植株的硝酸盐含量。

**关键词** 小白菜;停止供给;营养液;硝酸盐含量

**中图分类号** S634.3 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2019)13-0050-03

**doi:** 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.13.016



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Effects of Stopping Nutrition Supply before Harvest on the Biomass and Nitrate Content of *Brassica campestris* L.

YUAN Yi, TAO Jing, WANG Qian et al (Horticultural Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming, Yunnan 650205)

**Abstract** [Objective] To reduce the nitrate content in soilless cultivated vegetable plants. [Method] The Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.) was used as the material, and the supply of nutrient solution was stopped at 3, 6 and 9 days before harvest, then it was transferred to clear water cultivation. The physiological indexes, quality indexes and chlorophyll contents of Chinese cabbage were determined at harvesting. [Result] After stopping the supply of nutrient solution for 3, 6 and 9 days, the plant weight of the Chinese cabbage was reduced by 10.0%, 9.2% and 22.4%, respectively; and the nitrate content of blades was decreased by 61.1%, 80.7% and 88.1%, respectively, the nitrate content in the petiole was reduced by 25.7%, 42.2% and 57.6%, respectively; the vitamin C content of the plants increased slightly. [Conclusion] Stopping supplying nutrient solution 3 to 6 days before the harvest of Chinese cabbage and replacing it with clear water cultivation can minimize the nitrate content of the plant while not affecting the yield.

**Key words** *Brassica campestris* L.; Stopping supply; Nutrient solution; Nitrate content

无土栽培因其可控程度和复种指数高、适应性广、易操作、产品洁净、农药残留量低等优点,已成为国外设施栽培的主流栽培模式,目前随着我国市场对安全、优质、商品性高蔬菜需求的增加,国内蔬菜无土栽培发展迅速<sup>[1-2]</sup>。由于无土栽培对快速高产的追求,易出现蔬菜硝酸盐含量过高的问题,陈选阳等<sup>[3-4]</sup>研究表明,与土壤栽培相比,无土栽培会提高叶菜型甘薯的硝酸盐含量。硝酸盐在食用后可被人体还原成有毒的亚硝酸盐,增加患肠胃癌、高铁血红蛋白症等疾病的几率,对人体健康构成威胁<sup>[5-6]</sup>。国内外研究表明,人体摄入的硝酸盐有81.2%来自蔬菜,因此硝酸盐含量是衡量蔬菜品质的一个重要指标<sup>[7]</sup>。我国已于2004年取消蔬菜中硝酸盐的残留限量标准,然而欧盟和日本还是严格执行硝酸盐的残留限量标准,且各国之间硝酸盐含量限制值差异不大。我国目前主要蔬菜硝酸盐含量均逼近或超过欧盟针对新鲜和冷冻菠菜及生菜的硝酸盐含量限值<sup>[5,8]</sup>。目前蔬菜硝酸盐含量超标已成为设施蔬菜产业可持续发展以及进出口贸易的瓶颈,如何降低无土栽培蔬菜硝酸盐含量仍然是各国研究者的研究热点。

降低无土栽培蔬菜硝酸盐含量的途径主要有3种,即培育无土栽培专用品种、加强设施环境调控技术及研发新型营养液及管理技术<sup>[9-10]</sup>。前2种方法因其周期过长和投入过

高无法应用于实际生产栽培中,而通过栽培期间调整硝铵配比氮素浓度、加入渗透离子以及采前断氮等措施能一定程度降低蔬菜硝酸盐含量,但也存在减产、品质下降和不宜操作等问题,此外栽培结束后废弃的营养液也会对环境及地下水造成污染<sup>[11]</sup>。Satoru Tsukagoshi通过采收前6 d停止对营养液补充NO<sub>3</sub>-N和采收前2~6 d停止对营养液追肥的栽培方法,有效降低了菠菜中的硝酸盐含量,使得所培育菠菜满足欧盟春夏季菠菜硝酸盐含量低于2 500 mg/kg和秋冬季菠菜硝酸盐含量低于3 000 mg/kg的限量要求<sup>[12]</sup>。由于采收前精准调控营养液成分在实际生产中实施难度较高,而云南地下水及河流矿物质含量丰富且大部分栽培地井水电导度值(electrical conductivity, EC)均达到0.5 dS/m,因此该试验提出在云南地区通过采收前使用井水替换营养液进行小白菜栽培,以期得出降低水培小白菜硝酸盐含量实用性较高的栽培方法。

该研究以小白菜为原材料,研究无土栽培条件下采前切断养分供应对小白菜产量、品质及硝酸盐含量的影响,探寻产品品质和硝酸盐含量调控的平衡点,以期在实际生产中经济、安全、高效栽培提供理论依据。

### 1 材料与方法

**1.1 材料** 供试小白菜品种为苏州青;水培塑料箱规格为80 cm×60 cm×24 cm;水培海绵规格为25 mm×25 mm×20 mm;定植泡沫板规格为75 cm×55 cm×2 cm;营养液选用日本园试营养液配方。

**1.2 方法** 试验于2018年1~3月在云南省昆明市团结乡实验基地塑料大棚内以水培方式进行。材料播种于浸置于

**基金项目** 科技惠民专项(农业)(2016RA004);云南省应用基础研究计划项目青年项目(2017FD018)。

**作者简介** 袁艺(1986—),女,重庆人,助理研究员,硕士,从事蔬菜栽培及育种研究。\*通信作者,研究员,从事蔬菜育种与栽培研究。

**收稿日期** 2019-02-04

井水中的水培海绵中,发芽后用  $EC=0.6$  dS/m 的园试营养液进行浇灌,待幼苗现第 3 片真叶时定植到泡沫板上进行漂浮栽培,营养液  $EC$  保持在  $(2.0 \pm 0.2)$  dS/m,栽培行距和株距为 15 cm,使用氧气泵每天对营养液供氧 10 次,每次 5 min。在收获前的 3、6、9 d 对小白菜植株进行处理,用井水 ( $EC=0.5$  dS/m) 代替营养液进行漂浮栽培,仍用园试营养液栽培的植株为对照组。试验设 4 个处理、5 次重复,采收时进行生理指标和品质指标的测量,取样时每小区随机选择 10 株进行调查。

**1.3 测定项目及方法** 生理指标:包括单株重、根重、最大全叶的干鲜重、最大叶片的干鲜重和最大叶柄的干鲜重。随机取样清洗擦干后迅速称取植株各部分鲜重,根、茎、叶在  $105^\circ\text{C}$  杀青 30 min,然后在干燥箱中经  $85^\circ\text{C}$  烘干 24 h 至恒重,用电子天平(精确度为 0.001 g)测量各部分干重。叶绿素含量:用叶绿素计 SPAD-502PLUS Konica Minolta 在上午 8:00—10:00 测量最新一片完全展开叶(避开叶脉),每株重复 3 次,结果取平均值。硝酸盐含量:在上午 8:00—10:00 进行小白菜采样,加纯净水研磨离心后取上清液用 RQflex plus 10 (Merck, Damstadt, Germany) 进行测量<sup>[13-14]</sup>。维生素 C 含量:在上午 8:00—10:00 进行小白菜采样,加 10% 偏磷

酸溶液研磨离心后取上清液用 RQflex plus 10 (Merck, Damstadt, Germany) 进行测量<sup>[15]</sup>。

**1.4 数据处理** 采用 SPSS 19.0 软件及 Excel 2003 软件对试验数据进行统计分析,并利用 Duncan 法进行多重比较。

## 2 结果与分析

**2.1 采前停止养分供应对水培小白菜生物量的影响** 表 1 表明,停止养分供给 3、6 和 9 d 后,小白菜植株的单株重均发生了下降,分别减少 10.0%、9.2% 和 22.4%,3 和 6 d 处理组间单株重差异不显著。根重方面对照组最重(21.41 g),各处理间差异不显著,可见采前停止养分供应主要对小白菜地上部生物量产生影响,这与徐加林<sup>[16]</sup> 在生菜上的试验结果一致。停止养分供给 3 和 6 d 后,小白菜最大全叶重、最大叶片重和最大叶柄重没有发生显著下降,停止养分供给 9 d 后,小白菜最大全叶重和最大叶片重分别下降 17.2% 和 19.2%。此外,各处理间的最大叶柄重和叶柄占比差异均不显著,可见采收前停止营养液供给对叶片生物量的影响大于对叶柄生物量的影响。由表 1 可知,采收前停止养分供应会对小白菜的单株重造成显著影响,其中停止养分供应 3 和 6 d 的处理区小白菜生物量无显著差异。

表 1 采收前停止养分供应对水培小白菜生物量的影响

Table 1 Effects of stopping nutrient supply before harvest on biomass of hydroponic Chinese cabbage

停止养分供应天数 Nutrient supply suspension day//d	单株重 Plant weight//g	根重 Root weight//g	最大全叶重 Maximum total leaf weight//g	最大叶片重 Maximum blade weight//g	最大叶柄重 Maximum petiole weight//g	叶柄占比 The proportion of petiole weight to total leaf weight//%
0	295.03±11.09 a	21.41±1.45 a	19.81±3.31 a	5.96±0.63 a	13.86±2.72 a	69.58 a
3	265.41±11.69 b	19.19±0.72 a	18.12±1.98 ab	5.12±0.51 ab	13.01±1.64 a	72.45 a
6	268.10±19.08 b	20.14±1.44 a	18.07±1.55 ab	5.33±0.38 ab	12.74±1.35 a	69.65 a
9	228.81±18.25 c	19.42±2.42 a	16.41±0.96 b	4.81±0.38 b	11.61±0.64 a	70.43 a

注:同列不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平上差异显著

Note: Different lowercases in the same column stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

**2.2 采前停止养分供应对水培小白菜干物质含量的影响** 由表 2 可见,叶片的干物质含量占比约为 8.5%,叶柄的干物质含量约为 3%,全叶的干物质含量约为 4.5%。其中,各部分的干物质含量占比均为对照组最低,且对叶片干物质含量占比影响较叶柄大,各处理间不存在显著差异,说明并

表 2 采收前停止养分供应对水培小白菜干物质含量的影响

Table 2 Effects of stopping nutrient supply before harvest on dry matter content of hydroponic Chinese cabbage %

停止养分供应天数 Nutrient supply suspension day//d	最大叶片干物质含量 Blade dry matter content of maximum leaf	最大叶柄干物质含量 Petiole dry matter content of maximum leaf	最大全叶干物质含量 Dry matter content of maximum leaf
0	8.21	2.84	4.42
3	8.82	2.82	4.47
6	8.29	3.13	4.73
9	8.89	3.13	4.77

注:同列不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平上差异显著

Note: Different lowercases in the same column stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

没有随着停止养分供给而发生改变。Satoru Tsukagoshi 等<sup>[12]</sup> 的试验结果表明,在采收前停止  $\text{NO}_3\text{-N}$  或所有营养的追肥,均会对菠菜干物质含量占比造成一定影响,与该试验结果不一致,这可能与小白菜叶柄占比比较菠菜高有关。

**2.3 采前停止养分供应对水培小白菜品质及叶绿素含量的影响** 由表 3 可看出,随着营养液的停止供给,叶片和叶柄的硝酸盐含量均显著下降。在停止营养液供应 3、6 和 9 d 后,叶片硝酸盐含量分别下降 61.1%、80.7% 和 88.1%,其中停止养分供应 6 和 9 d 的处理区小白菜叶片硝酸盐含量无显著差异。叶柄硝酸盐含量分别下降 25.7%、42.2% 和 57.6%,各处理间差异显著,且采收前停止营养液供给对小白菜叶片硝酸盐含量的影响大于叶柄。维生素 C 含量在停止供应营养液后出现先增加后减少的变化,其中采收前 6 d 停止养分供应的处理和对照间存在显著差异,这与 Satoru Tsukagoshi 等<sup>[12]</sup> 在菠菜采收前停止追肥的试验结果一致。在停止营养液供给后,小白菜植株叶绿素含量有所下降,但是并不受停止养分供应天数的影响。

表3 采收前停止养分供应对水培小白菜品质及叶绿素含量的影响

Table 3 Effects of stopping nutrient supply before harvest on quality and chlorophyll content of hydroponic Chinese cabbage

停止养分供应天数 Nutrient supply suspension day//d	叶片硝酸盐含量 Nitrate content in blades//mg/kg	叶柄硝酸盐含量 Nitrate content in petioles//mg/kg	维生素 C 含量 Vitamin C content//mg/kg	叶绿素含量 Chlorophyll content mg/100g
0	3 129.88±391.21 a	4 299.07±618.49 a	25.02±3.42 b	61.94±2.21 a
3	1 218.43±403.33 b	3 195.87±238.14 b	26.89±2.67 ab	57.13±4.79 b
6	602.95±167.55 c	2 483.61±343.80 c	31.78±3.83 a	56.58±1.43 b
9	371.47±72.59 c	1 824.23±266.13 d	26.94±4.10 ab	57.13±2.55 b

注: 同列不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

### 3 结论与讨论

绿叶蔬菜被认为是易富集硝酸盐的作物。植物所吸收硝酸盐, 部分在细胞质中被还原为氨基酸, 部分则积累在液泡中, 起渗透调节作用。植物在生长过程中积累的硝酸盐, 基本都储藏在液泡中<sup>[16]</sup>。在植物生长后期, 体内已经积累充足的养分, 该试验在小白菜生长后期停止供应营养液而改用清水栽培, 就是迫使植物利用液泡中的硝酸盐进行植物的正常代谢, 从而达到降低硝酸盐含量的目的。国际通行的叶菜类硝酸盐含量限值为 3 000 mg/kg, 该试验中, 在标准管理条件下的小白菜叶片和叶柄中硝酸盐含量均超过了国际标准限值, 说明小白菜属于硝酸盐易积累的蔬菜且水培栽培确实存在硝酸盐含量较高的问题。笔者在对小白菜进行采收前停止养分供应处理后, 其叶片和叶柄的硝酸盐含量均显著下降, 两者降幅均超过 50%, 并且随着停止营养供应栽培天数的增加, 小白菜体内硝酸盐含量进一步下降, 这说明采收期停止养分供给能有效降低小白菜体内硝酸盐含量。其中小白菜叶片在采收前 3 d 停止养分供应可以将其硝酸盐含量降低至国际标准限值以下, 叶柄在采收前 6 d 停止养分供应可以将其硝酸盐含量降低至国际标准限值以下。

从产量上来看, 在停止供给营养后小白菜的单株鲜重发生显著下降, 停止养分供应 3 d 和 6 d 处理区小白菜生物量间无显著差异, 而停止供给营养液 6 d 后随着停止营养供给时间的延长, 下降幅度也逐渐增大, 且小白菜叶片生长比叶柄生长对营养不足更加敏感。此外, 停止营养供给后, 小白菜的叶绿素含量也显著降低, 说明由于叶绿素含量合成受影响从而对小白菜生物量造成影响, 刘骁龙<sup>[17]</sup>在生菜的试验中也发现了类似的规律, 但是在芥菜上没有发现叶绿素含量的变化。徐加林<sup>[16]</sup>在生菜的试验中也发现了停止营养供给 4 天后产量的下降, 但并未发现可溶性蛋白和维生素 C 含量的下降, 这与该试验结果一致。不同蔬菜, 甚至是同一种蔬菜的不同品种之间, 植株营养吸收与分配方式都不同, 停止营养供给后的产量, 品质变化都会有所不同。该试验中, 小白菜在停止供应营养之后产量和硝酸盐含量降低, 但维生素 C 含量并未发生显著改变。

该研究结果表明, 在云南实际生产中可根据栽培季节、

目的及产品供应对象的不同, 综合考虑实际生产对小白菜产量及硝酸盐含量的要求, 对水培小白菜采收前进行 3~6 d 的切断养分供应栽培, 这能在较少减少产量损失的同时最大程度降低植株的硝酸盐含量。

### 参考文献

- [1] 刘文科, 杜连凤, 杨其长. 设施无土栽培蔬菜硝酸盐控制措施[J]. 北方园艺, 2008(5): 83-85.
- [2] 任尚杰, 方伟, 张国敏, 等. 两种浓度营养液下水培生菜和小白菜生长特性及品质研究[J]. 作物杂志, 2011(3): 42-46.
- [3] 余意. 三种叶色生菜人工光水培氮营养及光质条件优化研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015.
- [4] 陈选阳, 张招娟, 郑佳伟, 等. 水培对叶菜型甘薯茎尖营养品质与硝酸盐含量的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(17): 3736-3742.
- [5] 都韶婷, 章永松, 林咸永, 等. 蔬菜积累的硝酸盐及其对人体健康的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 2007-2014.
- [6] 张国芹, 李静, 牟建梅, 等. 秋季不结球白菜硝酸盐积累的基因型差异[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(5): 228-230.
- [7] 李惠霞, 张玲丽, 马红军, 等. 温度与氮素形态和用量对叶用莴苣生长和硝酸盐含量的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(10): 205-207.
- [8] 都韶婷, 金崇伟, 章永松. 蔬菜硝酸盐积累现状及其调控措施研究进展[J]. 中国农业科学, 2010, 43(17): 3580-3589.
- [9] 刘文科, 杨其长. 设施无土栽培蔬菜硝酸盐含量的控制方法[J]. 北方园艺, 2010(20): 79-83.
- [10] 董晓英, 李式军. 采收营养液处理对水培小白菜硝酸盐积累的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 447-451.
- [11] LI H X, INOKUCHI T, NAGAOKA T, et al. NO<sub>3</sub>-requirement and the quantitative management method of nutrient solution based on NO<sub>3</sub>-supply in hydroponic culture of radish plants [J]. Japan Soc Hort Sci, 2014, 83(1): 44-51.
- [12] TSUKAGOSHI S, MARUO T, ITO T, et al. Effect of withdrawal of NO<sub>3</sub>-N or all nutrient from the NFT system prior to harvest on the growth, NO<sub>3</sub> content in the spinach plant and the final mineral concentration in the nutrient solution[J]. Hort Res Japan, 1999, 68(5): 1022-1026.
- [13] SHINOHARA Y, TSUKAGOSHI S, HAYASHI N, et al. Development of the fertigation control based on cumulative solar radiation to decrease the nitrate concentration in spinach [J]. Hort Res Japan, 2007, 6(2): 189-193.
- [14] JIANG C Y, JOHKANA M, HOHJO M, et al. Photosynthesis, plant growth, and fruit production of single-truss tomato improves with supplemental lighting provided from underneath or within the inner canopy[J]. Scientia horticulturae. 2017, 222(19): 221-229.
- [15] 徐加林. 营养液调控对生菜生长和硝酸盐积累的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2005.
- [16] ASLAM M, TRAVIS R L, RAINS D W. Enhancement of nitrate reductase activity and metabolic nitrate concentration by methionine sulfoximine in barley roots[J]. Plant science, 2001, 161: 133-142.
- [17] 刘骁龙. 低钾营养对叶菜品质和钾含量的影响[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.