

栽培水分对采摘后油菜硝酸盐与亚硝酸盐含量的影响

郑丽红, 张玉龙*, 虞娜, 黄毅, 赵昕欣, 刘洋

沈阳农业大学土地与环境学院/辽宁省农业资源与环境重点实验室, 辽宁 沈阳 110161

摘要: 采用盆栽方法栽培油菜 (*Brassica campestris* L.), 研究了灌水水平对采摘后油菜植株体硝酸盐与亚硝酸盐含量随时间变化的影响。共设高 (灌水控制上限为田间持水量)、中 (灌水控制上限为田间持水量的 75%) 和低 (灌水控制上限为田间持水量的 50%) 3 个灌水水平。油菜采摘后恒温贮存, 定期测定油菜植株体内硝酸盐、亚硝酸盐含量。研究结果表明: 不同灌水水平和贮存时间以及两者的交互作用都能显著地影响油菜植株体硝酸盐和亚硝酸盐含量; 在采摘后的 8 d 时间里, 低灌水水平处理 ($0.50 \theta_f$ 处理) 的油菜植株体硝酸盐含量一直高于其它两处理; 采摘后当天测定高灌水水平处理 ($1.00 \theta_f$ 处理) 的油菜植株体硝酸盐含量最低, 以后则以中等灌水水平处理 ($0.75 \theta_f$ 处理) 的油菜植株体硝酸盐含量为最低。采摘后当天测定油菜植株体亚硝酸盐含量, 亦以高灌水水平处理 ($1.00 \theta_f$ 处理) 为最低。采摘后油菜植株体硝酸盐和亚硝酸盐含量都经历一个先降低、后升高、再降低的变化过程。因此, 从对人体健康及卫生的角度出发, 以较高灌水水平栽培油菜, 采摘后在一两天内食用, 有利于将其硝酸盐和亚硝酸盐含量控制在较低水平。

关键词: 灌水水平; 贮存时间; 硝酸盐; 亚硝酸盐

中图分类号: X56

文献标识码: A

文章编号: 1672-2175 (2007) 02-0471-05

土壤水分供应状况是蔬菜栽培过程中影响蔬菜体内硝酸盐和亚硝酸盐含量的重要因素之一。虽然硝酸盐对蔬菜本身无害, 但蔬菜食入人体后易被还原成亚硝酸根离子, 对人体产生危害。亚硝酸根离子是一种强致癌物质, 世界卫生组织和联合国粮农组织规定硝酸盐人体日允许摄入量标准为 $3.6 \text{ mg/kg}^{[1-2]}$ 。许多研究表明^[3-4], 灌水水平的差异会影响蔬菜体内硝酸盐和亚硝酸盐含量。但是, 不同水肥处理蔬菜采收后贮藏过程中其体内的硝酸盐和亚硝酸盐含量变化的研究尚不多见。蔬菜采摘后其体内的物质转化过程并未结束, 采收前水肥供应状况会导致蔬菜体内的多种化合物含量、植物体的存赋状态不同, 进而影响到采摘后贮存过程中蔬菜体内硝酸盐和亚硝酸盐含量, 即不同水肥处理蔬菜采收后贮藏过程中蔬菜体内的硝酸盐和亚硝酸盐变化, 对于人们身体安全可能更为重要。为此, 本文研究了灌水水平对采摘后蔬菜硝酸盐与亚硝酸盐含量随贮存时间变化的影响, 以便在生产和生活中通过调控灌水和蔬菜的贮存时间, 为减轻蔬菜硝酸盐污染、提高其品质提供科学依据。

1 材料与方法

本试验采用盆栽试验, 盆钵为高 16 cm, 直径 22 cm 的塑料盆, 每盆装过 3 mm 筛的风干土 4.24 kg (烘干质量 4 kg)。供试蔬菜为油菜 (*Brassica campestris* L.), 品种为沈农超级上海青。进行灌水

水平不同的单因素试验, 设置 3 个灌水水平, 分别为 $0.50 \theta_f$ (低)、 $0.75 \theta_f$ (中)、 $1.00 \theta_f$ (高), 其中 θ_f 为土壤田间持水量, 单位为 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 即每日灌水后土壤含水率达到上述设定水平, 各处理重复 4 次。各处理底肥用量相同, 均施磷肥 (以 P_2O_5 计) $0.200 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、钾肥 (以 K_2O 计) $0.200 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、氮肥 (纯氮) $0.517 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 肥料分别为过磷酸钙 (含 P_2O_5 16%)、尿素 (含氮 46.4%) 和硫酸钾 (含 K_2O 50%)。各种肥料全部与土壤混匀作基肥施入。蔬菜于 2006 年 5 月 26 日播种。定苗后开始水分处理, 具体做法是用电子秤称质量, 将各处理盆钵土壤含水量补充至试验设计的水平, 每天调节水分一次。7 月 2 日采摘。蔬菜采摘后取其可食部分装入塑料袋内, 开口保证通风, 置于冰箱中贮存 (4°C), 分别在采摘当天和贮藏的第 2 d、第 4 d、第 5 d、第 8 d 取样分析测定油菜体内的硝酸盐和亚硝酸盐含量, 其中硝酸盐含量测定采用酚二磺酸分光光度计法^[6], 亚硝酸盐含量用盐酸萘乙二胺法^[7]。

2 结果与分析

灌水水平处理 $0.50 \theta_f$ 、 $0.75 \theta_f$ 、 $1.00 \theta_f$ 的实际灌水量平均值分别为 5 322 mL、4 782 mL、2 222 mL, 其产量平均值分别为 $178.7 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ 、 $146.4 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ 和 $76.4 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ 。采摘后高、中、低三灌水水平的油菜植株体含水量测定结果分别为 92.86%、91.50% 和 90.99%, 与灌水水平高低相一致。

基金项目: 科技部农业科技成果转化资金项目 (04EFN212100055); 辽宁省科委“十五”重中之重大项目 (2001212001); 辽宁省教育厅资助项目 (05L386)

作者简介: 郑丽红 (1981 -), 女, 硕士研究生, 研究方向为农业环境保护。Tel: +86-24-88493107; E-mail: zhenglihong1005@163.com

*通讯作者, E-mail: ylsau@163.com

收稿日期: 2006-12-08

2.1 灌水水平对贮藏过程中油菜植株体硝酸盐含量的影响

图1为不同灌水水平处理油菜植株体硝酸盐含量随贮存时间的变化。从图中可以看出,3种灌水水平处理,油菜植株体硝酸盐含量在贮存过程中均呈先降低后升高、再降低的变化趋势。两次降低分别出现在采摘后的第2 d和第5 d,但第5 d的降低幅度明显大于第2 d。各水分处理间油菜植株体硝酸盐含量随贮存时间变化的幅度有较大差异,以低灌水水平处理(0.50 θ_f 处理)为最大、以高灌水水平处理(1.00 θ_f 处理)为最小。

由图1还可看出,油菜植株体硝酸盐含量在采摘后的前4 d不同水分处理间差异明显,0.50 θ_f 处理的油菜植株体硝酸盐含量明显高于其它两处理。采摘后立即测定(即贮存第0 d)高灌水水平1.00 θ_f 处理的蔬菜体内硝酸盐含量最低,为178.949 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,不足其它两种处理的1/2,此时3种灌水水平油菜植株体内硝酸盐含量之间差异达到了5%显著水平。中等灌水水平0.75 θ_f 处理采摘后当天测定油菜植株体硝酸盐含量高于高灌水水平的1.00 θ_f 处理,以后则低于1.00 θ_f 处理。而采摘后第5 d、第6 d,各处理的油菜植株体硝酸盐含量均大幅度降低,且各水

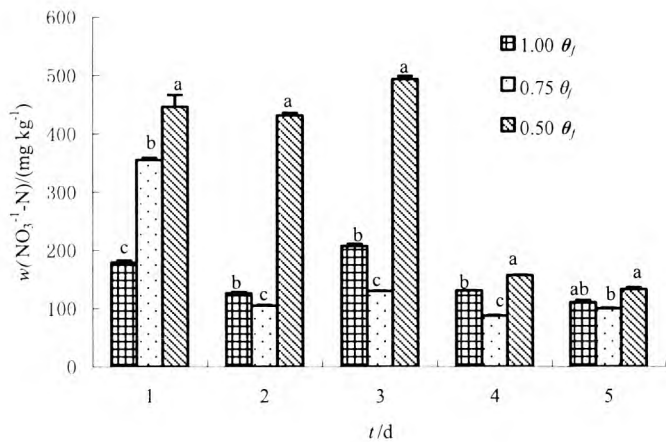


图1 油菜在贮存过程中硝酸盐含量的变化

Fig. 1 Nitrate concentration of rape during the course of storage
注: 同一时间不同小写字母代表 5%显著水平

分处理间差异明显变小。

对不同灌水水平和不同贮存时间油菜植株体内硝酸盐含量进行方差分析,结果如表1。从表中可以看出,灌水水平、贮存时间以及灌水水平和贮存时间交互作用对油菜植株体内硝酸盐含量的影响都达到了1%显著水平。

表1 不同灌水水平、贮存时间油菜体内硝酸盐含量方差分析

Tab1 ANOVA of nitrate concentration of rape with different irrigation level and storage time

变异来源	平方和	自由度	均方和	F值
灌水水平(A)	315 075.0	2	157 537.5	1 104.3**
贮存时间(B)	305 679.7	4	76 419.9	535.7**
灌水水平×贮存时间	329 419.1	8	41 177.4	288.6**
误差	6 419.8	45	142.7	
总变异	956 593.6	59		

注: **代表 1%显著水平

2.2 灌水水平对贮藏过程中油菜植株体亚硝酸盐含量的影响

图2为不同灌水水平处理油菜植株体亚硝酸盐

含量随贮存时间的变化。由图2中可以看出,在采摘后贮存的6 d时间里,各灌水水平处理蔬菜体内亚硝酸盐含量变化均呈现先增加后降低的趋势。采摘后立即测定(第0 d)各灌水水平处理油菜植株体内亚硝酸盐含量以高灌水水平1.00 θ_f 处理最低,为0.0148 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,明显低于其它两处理。这与同时测定的油菜植株体内硝酸盐含量结果一致。以后油菜植株体内亚硝酸盐含量上升,低灌水水平0.50 θ_f 处理最先在采摘后贮存的第2 d达到其自身的最大值,中等灌水水平0.75 θ_f 和高灌水水平1.00 θ_f 两处理均在采摘后的第4 d达到最大值。就油菜植株体亚硝酸盐含量最大值比较,中等灌水水平0.75 θ_f 处理和低灌水水平0.50 θ_f 处理明显大于高灌水水平1.00 θ_f 处理,即高灌水水平1.00 θ_f 处理油菜植株体内亚硝酸盐含量不仅比较低,且变化相对平缓。至采摘后贮存的第5 d,各处理植株体内亚硝酸盐含量迅速降低,且处理间差异明显变小。

对油菜植株体内亚硝酸盐含量差异显著性做灌水水平和贮存时间的双因素方差分析,结果见表

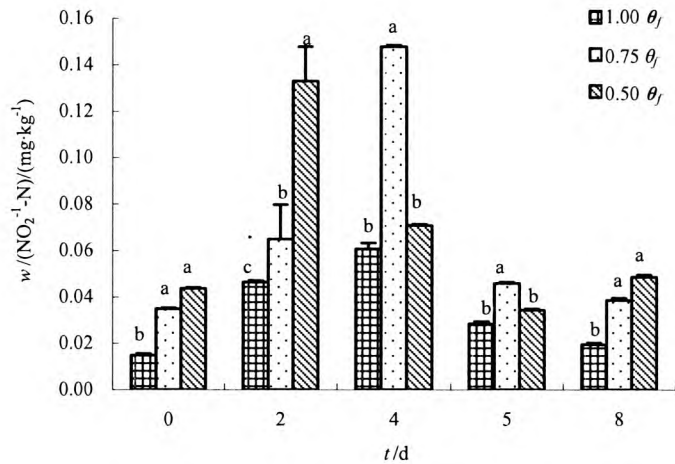


图2 不同灌水水平处理的油菜在贮存过程中亚硝酸盐的变化
Fig. 2 Nitrite concentration of rape during the course of storage

2。从表2中可以看出，灌水水平、贮存时间和灌水水平与贮存时间的交互作用对油菜体内亚硝酸盐含量的影响都达到了1%极显著水平。

表 2 不同灌水水平、贮存时间油菜体内亚硝酸盐含量方差分析
Table 1 ANOVA of nitrite concentration of rape with different irrigation level and storage time

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值
灌水水平(A)	0.013 9	2	0.006 9	106.589**
贮存时间(B)	0.041 4	4	0.010 4	159.427**
灌水水平×贮存时间	0.025	8	0.003 1	48.157**
误差	0.002 9	45	0.000 1	
总变异	0.083 2	59		

注：**代表 1%显著水平

3 讨论

采摘后立即测定油菜植株体内硝酸盐和亚硝酸盐含量，结果含量由低至高的顺序均为高灌水水平1.00 θ_f 处理，中等灌水水平0.75 θ_f 处理，低灌水水平0.50 θ_f 处理。这说明灌水量增加可以有效地控制油菜体内硝酸盐和亚硝酸盐含量。这与已有的干旱通常导致蔬菜硝酸盐积累增加的研究结果相一致^[9]。一般认为灌水量增加有助于硝酸盐向土壤深处移动，甚至有可能把硝酸盐淋洗出根层，从而导致植物体从土壤中吸收的硝酸盐数量降低^[8]。另外，在土壤水分充足、尤其是嫌气条件下硝酸还原酶活跃，易发生反硝化作用，使土壤中的硝酸盐被硝酸还原酶还原为亚硝酸盐、N₂等，进而进入到大 气。这一过程使土壤中的硝酸盐减少，致使植物吸收的硝酸盐降低。水分是植物养分的良好溶剂，植物体内的水分状况影响着植物对养分的吸收，也影响着

养分在植物体内的转移和分配。植物吸收的NO₃⁻与水分子结合形成高度可溶的水化离子，随质流运输到植物各器官供生长代谢所需，累积于植物液泡中的硝酸盐又可通过改变液泡中的溶质浓度，从而调节液泡的水分吸收，改变细胞的膨压，对细胞伸长起着重要作用^[13-14]。可见，植物对硝酸盐的吸收及其在体内的运输、还原及同化与水分代谢有着密切的联系^[15-16]。因此，从植物生理学角度看，充足的水分供应可保证植物体内的物质合成与代谢过程正常进行，这使得进入到植株体内的硝酸盐能够顺利地转化成其它化合物，也使得植物体内的硝酸盐含量较低。

硝酸盐还原为亚硝酸盐是由硝酸还原酶催化的，由于硝酸还原酶是诱导酶，其活性随硝酸盐的增加而增强^[10-11]，因此，采摘后立即测定，各灌水水平处理油菜植株体内亚硝酸盐含量排列顺序和硝酸盐含量排列顺序一致。以后随着贮存时间的增加，油菜植株体内硝酸盐会被硝酸还原酶不断地还原成为亚硝酸盐，致使硝酸盐含量降低、亚硝酸盐含量增高；而亚硝酸盐继而被亚硝酸还原酶还原成氨，使得油菜植株体内亚硝酸盐含量也经历了由低到高、再由高到低的变化过程。由于灌水水平不同、采摘后油菜植株体内水分含量相异，这一生物化学过程的差异，会造成处理间油菜植株体内硝酸盐和亚硝酸盐含量变化的不同。

已有研究表明，硝酸还原酶对水分特别敏感，其活性随相对含水量的降低而降低^[11]。可以认为，采摘后贮存期间低灌水水平 0.50 θ_f 处理油菜植株体的硝酸盐含量在 3 个水分处理中最高，是由于采

摘时其硝酸盐含量高于另外 2 个处理,且采摘后贮存过程中其植株体内含水量也最低,导致了硝酸还原酶降低,硝酸盐被还原的数量少所造成的。中等灌水水平 0.75 θ_f 处理的油菜植株体内硝酸盐含量在采摘后的第 2 d 开始至试验结束一直低于另外两处理,可以推测为是由于油菜植株体内水分含量及其与贮存温度交互作用等因素,有利于油菜植株体内硝酸盐转化所致。不过,由于到目前为止灌水水平对油菜体硝态氮、亚硝态氮含量,特别是采摘后贮存期间油菜植株体内硝态氮、亚硝态氮含量变化影响的机理报道得很少,其机理尚不明确,需要进一步深入研究。

4 结论

本文用盆栽试验的方法,研究了不同灌水水平对油菜采摘后植株体内硝态氮、亚硝态氮含量随时间变化的影响。结果表明,栽培过程中灌水控制水平、采摘后的贮存时间以及两者的交互作用都能极显著地影响油菜植株体内硝酸盐、亚硝酸盐含量及其变化。仅就油菜植株体硝酸盐、亚硝酸盐含量考虑,供水充足、高灌水水平的1.00 θ_f 处理有利于降低油菜植物体硝酸盐和亚硝酸盐含量,且采摘后应尽快食用;中等灌水水平的0.75 θ_f 处理,尤其是当采摘后不能立即食用而贮存一两天后再食用的情况,硝酸盐和亚硝酸盐含量也能得到较好控制;而供水不足、低灌水水平的0.50 θ_f 处理,油菜植株内硝酸盐和亚硝酸盐无论是采摘当时,还是在其后的贮存过程中都明显高于水分供应相对充足的处理,因此生产中、特别是采摘前应避免土壤水分供应不足的情况发生。

参考文献:

[1] 王宪泽,程炳嵩,张国珍.蔬菜中的硝酸盐及其影响因素[J].植物学通报,1991,8(3):34-37.
WANG Xianze, CHENG Bingsong,ZHANG Guozhen.Nitrate and Its Influence Factots in Vegetables[J]. Chinese Bulletin of Botany, 1991, 8(3):34-37.

[2] 宋圃菊.饮食与胃癌的病因[J].北京医学院学报,1995(1):52-60.
SONG puju.The effect of diet on tummy bug[J]. Journal of Beijing Medical College, 1995(1):52-60.

[3] 王朝辉,田霄鸿,李生秀.土壤水分对蔬菜硝态氮累积的影响[J].西北农业大学学报:自然科学版,1997,5(6):15-20.
WANG Zhaohui, TIAN Xiaohong, LI Shengxiu. The Influence of Soil Water on Nitrate Accumulation in Vegetable[J]. Journal of Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition, 1997, 5(6):15-20.

[4] 李会合,王正银,罗云云.肥水互作对莴笋产量和硝酸盐含量的影响[J].西南农业学报,2005,8(1):66-69.
LI Huihe, WANG Zhengyin, LUO Yunyun.Effect of fertilization and

soil moisture on the yield and nitrate content of lettuce[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2005,8(1):66-69.

[5] 白厚义,肖俊璋.试验研究及统计分析[M].西安:世界图书出版公司,1998.
BAI Houyi, XIAO Junzhang.Experiment research and Statistical Analyse[M]. Xi-an: World Books publish Company, 1998.

[6] 大连轻工业学院、无锡轻工大学合编食品分析[M].北京:中国轻工业出版社,1994.
United compilation by Dalian. Institute of Light Industry and Wuxi light industry university. Food Analysis [M]. Beijing: Light industry Publisher of China. 1994.

[7] 刘微,赵同科,王丽英.不同水分、施氮量对土壤中硝态氮含量分布的影响[J].华北农学报,2006,21(3):27-30.
LIU Wei, ZHAO Tongke,WANG Liying.Effect of Irrigation and Nitrogen Fertilizer on NO₃⁻-N Content and Distribution in Soil[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2006, 21(3):27-30.

[8] 王朝辉,田霄鸿,李生秀,等.土壤水分对蔬菜硝态氮累积的影响[J].西北农业大学学报:自然科学版,1997,25(6):15-20.
WANG Zhaohui, TIAN Xiaohong, LI Shengxiu, et al. The Influence of Soil Water on Nitrate Accumulation in Vegetable.Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition, 1997, 25(6):15-20.

[9] 李合生.现代植物生理学[M].北京:高等教育出版社,2002.
LI Hesheng.Modern Phytophysiologicala[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002.

[10] 刘忠.菠菜品种间叶柄硝态氮累积差异的营养生理基础[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2004:8-11.
LIU Zhong.Nutritional and Physiological Basis of the Difference of Nitrate Accumulation in Petiole of Spinach Cultivars[D]. Yangling, Shanxi: Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, 2004:8-11.

[11] MARSCHER H. Mineral Nutrition of Higher Plants[M]. London: Harcourt Brace Jovanovich Martin, 1986:197-218.

[12] STEINGRÖVER E, RATERING P, SIESLING J. Daily changes in uptake, reduction and storage of nitrate in spinach grown at low light intensity[J]. Physiology Plant, 1986, 66:550-556.

[13] MCINTYRE G I. The role of nitrate in the osmotic and nutritional control of plant development[J]. Australian Journal of Plant Physiology, 1997, 24: 103-118.

[14] REININK K, EENINK A H. Genotypical differences in nitrate accumulation in shoots and roots of lettuce[J]. Scientia Horticulturae, 1988, 37(1/2):13-14.

[15] CÁRDENAS-NAVARRO R, ADAMOWICZ S, ROBIN P. Nitrate accumulation in plants: a role for water[J]. Journal of Experimental Botany, 1999, 50 (334): 613-624.

[16] 王朝辉,李生秀.蔬菜不同器官的硝态氮含量与水分、全氮、全磷含量的关系[J].植物营养与肥料学报,1996,2(2):144-152.
WANG Zhaohui, LI Shengxiu. Relationships Between Nitrate Contents and Water, Total N as Well as total P in Different or Gans of Vegetable Plants.Plant[J]. Nutrition and Fertilizer Science, 1996, 2(2):144-152.

[17] KNOWLES R. Denitrification[J]. Microbiol Rev, 1982, 46: 43-70.

Effect of water on nitrate and nitrite concentration of rape after picking

ZHENG Lihong¹, ZHANG Yulong, YU Na, HUANG Yi, ZHAO Xinxin, LIU Yang

1. Liaoning Key laboratory of Agricultural Resource and Environment//College of Land and Environment,
Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China

Abstract: A pot experiment of rape was conducted to investigate the effect of water on nitrate and nitrite concentration of rape after picking with three irrigation level of 100%, 75% and 50% field capacity. Results showed that nitrate and nitrite concentration of rape were affected by irrigation level and storage time. During the period of eight days after picking, the nitrate concentration of rape in the irrigation treatment of 0.50 θ_f irrigation level was the highest in all the irrigation treatment. While the nitrate concentration of rape in the irrigation treatment of 1.00 θ_f irrigation level was the lowest on the picking day. The nitrate concentration of rape in the irrigation treatment of 0.75 θ_f irrigation level was higher than that at 1.00 θ_f irrigation level on the picking day, but decreased to the lowest in all the irrigation treatment after the picking day. The nitrite concentration of rape was the lowest in the irrigation treatment of 1.00 θ_f irrigation level in all the irrigation treatment on the picking day. The concentration of nitrate and nitrite decreased, then increased and fell again after picking in all the irrigation treatment. It is concluded that the irrigation level of 1.00 θ_f and made the rape been eaten in one or two days after picked up, had an advantage in reducing the nitrate and nitrite concentration of rape and should be applied in the cultivation of rape.

Key words: irrigation level; storage time; nitrate; nitrite