

低氘水对水培生菜生长及品质的影响

曲爱爱¹, 渠艳秋¹, 倪维晨¹, 沈佳宇², 徐志红^{2*}

(1. 南农大(常熟)新农村发展研究院有限公司, 江苏苏州 215500; 2. 苏州奥特泉水应用技术有限公司, 江苏苏州 215500)

摘要 [目的]低氘水对水培生菜生长及品质的影响。[方法]以“富兰德里”生菜为材料,在水培条件下,研究0.005%低氘水对生菜生长及营养品质的影响。[结果]与对照相比,0.005%低氘水培育的生菜比较矮小,叶片数和根长显著增加,明显降低亚硝酸盐的含量,同时总酚含量、总抗氧化能力与羟自由基清除能力显著提高。[结论]该研究可为低氘水在蔬菜生产上的应用提供理论依据。

关键词 低氘水;生菜;生长;营养品质

中图分类号 S636.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)24-0037-02

Effects of Deuterium Depleted Water on Growth and Quality of Lettuce under Hydroponic Culture

QU Ai-ai, QU Yan-qiu, NI Wei-chen et al (Institute for New Rural Development of NJAU(Changshu), Suzhou, Jiangsu 215500)

Abstract [Objective] To research the effects of deuterium depleted water on growth and quality of lettuce under hydroponic culture. [Method] With 'Flandria' lettuce as experimental materials, we researched the effects of 0.005% DDW on the growth and nutritional quality of lettuce under hydroponic culture. [Result] Compared with the control, lettuce under 0.005% DDW treatment was dwarfed, and the number of leaves and roots increased significantly, which significantly reduced the nitrite content. At the same time, the total phenol content, total antioxidant capacity and hydroxyl radical scavenging capacity significantly increased, compared with the control. [Conclusion] This research provided theoretical basis for the application of DDW water in vegetable production.

Key words Deuterium depleted water; Lettuce; Growth; Nutritional quality

低氘水(英文名 deuterium depleted water, 简称 DDW)又称为超轻水。1个水分子是由2个氢原子和1个氧原子构成,氢原子有3个同位素,分别是氕(H, 氢, 原子量为1)、氘(D, 重氢, 原子量为2)和氚(T, 超重氢, 原子量为3)。氕与氧化合生成的水称为轻水(H₂O), 氘形成的水称为重水(D₂O), 地球上的自然水通常为轻水和重水的混合物。未受污染的河水中D/(D+H)的比例大约1:6 600, 即氘的体积分数为0.015%^[1], 人们通常把氘体积分数低于0.015%的水即称为低氘水。

目前,美国、匈牙利、俄罗斯、乌克兰、日本、德国等国家的相关研究机构已公开低氘水的相关研究成果,且已有低氘水产品上市。但是研究主要集中在低氘水对增强免疫力^[2]、糖尿病^[3]、改善亚健康^[4]、肿瘤辅助治疗^[5]、作用机制^[6]等方面,结果发现低氘水具有活化免疫细胞、改善机体基础代谢水平、抗细胞突变和延缓衰老等功能,有利于生命体的生长和繁衍。而关于低氘水在植物利用方面的研究还处在摸索阶段,国内鲜见相关报道。

生菜(*Lactuca sativa* L.)是菊科莴苣属一二年生草本植物,生育期短,生菜营养价值高,富含多酚、类胡萝卜素、抗坏血酸等多种抗氧化物质和膳食纤维,备受消费者推崇^[7]。鉴于此,笔者以叶用蔬菜生菜为研究对象,在水培条件下,比较低氘水和自来水对生菜生长以及营养品质的影响,为低氘水在蔬菜生产上的开发利用提供理论依据。

1 材料与方

1.1 供试材料 “富兰德里”奶油生菜种子、生菜水培营养液、LED水培培养箱均购自深圳市棋树科技有限公司;低氘

水(体积分数为0.005%)由江苏华益科技有限公司提供;维生素C、羟自由基清除能力、食品中亚硝酸盐、叶绿素、总酚、总抗氧化能力含量测定试剂盒购于苏州科铭生物技术有限公司。

1.2 试验方法 试验设置2个处理:CK(自来水)和T处理(DDW, 0.005%)。每个处理设16个重复单株,分别用相应水质浸泡生菜种子,配制水培工作溶液,水培方式为深液流,营养液循环利用,利用电导率(EC)管理营养液浓度。

生菜种子用15~20℃水浸泡2h,于2017年11月7日播种在定植棉上,3d后待幼苗长出2片真叶后,即11月11日将定植棉固定在定植杯内,然后移入LED培养箱内,培养箱内加入相应的营养液,初始EC值均调至1.1 mS/cm,培养槽内的液面始终保持一致,pH维持在5.8~6.5,以后根据生菜不同的生长阶段调节EC大小,前期EC值1.1~1.3 mS/cm,中期EC值1.4~1.5 mS/cm;中后期EC值1.6~1.8 mS/cm。在生菜生长过程中,培养箱白天温度23~25℃,夜间19~20℃,相对湿度保持在46%~50%,光照时间为12~16h,利用供氧泵不间断循环供氧。12月29日测定各项指标。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 生长指标。测定植株的株高、叶片数、主根长、干鲜重(包括单株鲜重、茎叶鲜重和根鲜重、地上地下干重)。

1.3.2 品质指标。取采收时的生菜顶部第4、5片叶,去除叶柄,把叶片切碎,混匀后取0.1g样本,加入1mL提取液匀浆,按照各指标试剂盒说明进行操作,用SpectraMAX190酶标仪测定各指标含量。

1.4 数据统计分析 采用SPSS 19.0软件进行数据分析,平均值间显著性差异采用邓肯新复极差法检验($P < 0.05$),所有图表均由Microsoft Excel 2007软件对数据进行处理和绘图。

基金项目 苏州市科技计划项目(SNG201650);常熟市科技发展计划项目(CN201617)。

作者简介 曲爱爱(1992—),女,山东德州人,初级农艺师,硕士,从事园艺研究。*通讯作者,高级工程师,从事同位素分离研究。

收稿日期 2018-04-10

2 结果与分析

2.1 低氘水对水培生菜生长的影响 由表 1 可知,T 处理生菜的株高、最大叶长、最大叶宽均小于对照,分别降低

11.84%、6.93%、19.74%。除最大叶宽外,其他指标均无显著差异;叶片数、主根长均大于对照,且差异显著,分别增加 24.04%、57.09%。

表 1 不同处理对水培生菜形态性状的影响

Table 1 Effects of different treatments on morphological characters of hydroponic lettuce

处理编号 Treatment code	株高 Plant height cm	叶片数 Leaf number 片	最大叶长 Length of maximum leaf//cm	最大叶宽 Width of maxi- mum leaf//cm	主根长 Main root length//cm
CK	11.15±0.25 a	22.88±2.42 a	12.56±0.99 a	8.31±0.49 b	27.17±5.16 a
T	9.83±1.90 a	28.38±3.58 b	11.69±1.34 a	6.67±0.74 a	42.68±1.76 b

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences between treatments ($P < 0.05$)

2.2 低氘水对水培生菜生物量的影响 由表 2 可知,CK 处理单株鲜重最大,比 0.005%低氘水处理提高了 49%,差异达到显著水平;地上部鲜重与单株干鲜重情况一样,CK 比 T 处理分别增加了 52%、42%;T 处理的根系干、鲜重(0.49、

6.29 g)反而比 CK 组(0.17、2.73 g)大,且差异显著。这说明与普通自来水相比,低氘水可能在提高生菜生物产量及经济产量上不占优势,但有利于增加生菜根系重。

表 2 不同处理对水培生菜生物量的影响

Table 2 Effects of different treatments on biomass of hydroponic lettuce

处理编号 Treatment code	鲜重 Fresh weight	地上部鲜重 Shoot fresh weight	根系鲜重 Root fresh weight	地上干重 Shoot dry weight	根系干重 Root dry weight
CK	53.04±2.64 a	50.32±3.00 a	2.73±0.59 b	4.00±0.22 a	0.17±0.02 b
T	35.47±5.23 b	29.18±4.18 b	6.29±1.13 a	2.63±0.12 b	0.49±0.06 a

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences between treatments ($P < 0.05$)

2.3 低氘水对水培生菜品质的影响 由表 3 可知,各指标的差异不同,CK 处理生菜的维生素 C 含量(92.55 mg/g)显著大于 0.005%低氘水处理(T 处理)的 88.74 mg/g;在生菜生长过程中发现 T 处理的叶色偏淡,CK 的叶绿素(0.49 mg/g)含

量高于 T 处理(0.46 mg/g),但是差异不显著;与对照相比,T 处理的亚硝酸盐含量明显降低,降低了 78.4%;而 T 处理总酚含量、总抗氧化能力及羟基自由基清除能力明显提高,分别是对照组的 2.2、1.8、4.8、2.5 倍。

表 3 不同处理对水培生菜营养指标的影响

Table 3 Effects of different treatments on nutrient indexes of hydroponic lettuce

处理编号 Treatment code	叶绿素 Chlorophyll mg/g	亚硝酸盐 Nitrite μg/g	维生素 C Vitamin C μg/g	总酚 Total phenols mg/g	总抗氧化能力 Total antioxidant capacity U/g	羟自由基清除能力 Hydroxyl radical scavenging activity//%
CK	0.49±0.02 a	1.25±0.16 a	92.55±1.60 a	5.66±0.17 b	27.08±3.98 b	0.02±0.004 b
T	0.46±0.03 a	0.27±0.04 b	88.74±0.94 b	12.37±0.47 a	128.98±15.25 a	0.05±0.004 a

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences between treatments ($P < 0.05$)

3 结论与讨论

该研究以生菜为试验材料,研究 0.005%低氘水对蔬菜生长发育及品质的影响,发现 0.005%低氘水处理可明显促进水培生菜前期茎叶和后期根系生长以及生物量的积累。Tanase 等^[8]研究表明,DDW 可以促进向日葵胚根、胚轴及初生叶的伸长,增加向日葵根茎叶的生物量,但是对大豆初生叶的生长、根茎生物量及色素积累有抑制作用。

有研究表明,低氘水能够促进向日葵叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素等物质的生物合成,加快其光合同化速率、蒸腾速率等生理进程^[8-9],但是抑制大豆叶绿素的合成^[8]。该研究发现,0.005%低氘水对水培生菜叶绿素的合成有抑制作用,表现为叶色偏淡绿色。

Popa 等^[10]研究发现,在培养基中加入 0.0025%低氘水,会提高玉米愈伤组织中过氧化物酶、过氧化氢酶的活性和多酚化合物的含量。该研究表明,0.005%低氘水可以提高总酚、类黄酮等抗氧化物质的含量,增强抗氧化能力与羟自由基清除能力,同时显著降低亚硝酸盐的含量,减少癌症的发生。

该研究结果对低氘水在蔬菜的生长发育及种植生产的应用具有重要的指导意义,但是只利用 0.005%低氘水进行试验,下一步可研究不同丰度的低氘水对蔬菜生长及品质的研究,并深入探究氘元素对植物抗氧化能力、光合色素合成的影响机制研究。

环糊精物理混合物衍射图峰(图 2C)为氟苯尼考(图 2A)和 β -环糊精(图 2B)衍射峰的叠加;包合物呈现典型的无定型衍射图(图 2D),氟苯尼考和 β -环糊精的结晶衍射峰均已消失,表明氟苯尼考以无定型或分子形式包合,形成了氟苯尼考 β -环糊精包合物,包合形式为分子包合。

2.3 氟苯尼考 β -环糊精包合物的收率和包合率 制得 3 批氟苯尼考 β -环糊精包合物,测得平均收率为 $(98.20 \pm 0.37)\%$,平均包合率为 $(95.10 \pm 1.28)\%$ 。3 批氟苯尼考 β -环糊精包合物的收率和包合率都较高,批间精密度较好。

3 结论

氟苯尼考 β -环糊精鉴别方法有傅里叶红外光谱法、X 射线粉末衍射法和差示扫描量热法。傅里叶红外光谱法测定样品时基线易漂移,重复性差;X 射线粉末衍射法和差示扫描量热法只能证实有新的物相产生,不能直接证实包合物的产生及产物的包合率,目前这些鉴别方法在药典中只作为药物的辅助鉴别方法。薄层色谱方法作为药典中普遍采用的特征性鉴别方法,具有专属性强和易操作等优点。

包合率作为包合物的最重要指标,是判断包合工艺质量的重要指标。罗娟等^[3]报道了氟苯尼考 β -环糊精的包合率测定方法,但其实际测定的是氟苯尼考原料的回收率,而不是氟苯尼考 β -环糊精包合率。该研究通过将游离氟苯尼考与包合氟苯尼考分离,建立了氟苯尼考 β -环糊精包合率的测定方法,可以科学评价产物中氟苯尼考 β -环糊精的纯度。

该研究建立了氟苯尼考 β -环糊精薄层色谱法和包封率的测定方法,结合 X 射线粉末衍射法和高效液相色谱法完善

了氟苯尼考 β -环糊精的评价方法。通过该评价体系,有效指导了氟苯尼考 β -环糊精的中试生产。包合率低和缺乏大生产设备是制约氟苯尼考 β -环糊精包合物扩大化生产的两大主要因素。该试验结果表明,采用超声波-离心喷雾干燥法中试制备的产物为氟苯尼考 β -环糊精包合物,收率为 98.2%,包合率为 95.1%;收率和包合率均较高,较好地解决了上述两大问题,该中试制备工艺简单可控,重复性好,可扩大化生产,具有较好的工业化前景。

参考文献

- [1] 何仲贵.环糊精包合物技术[M].北京:人民卫生出版社,2008:1.
- [2] 马可,张勇军,邓桦,等.氟苯尼考- β -环糊精包合物的制备与结构表征[J].中国抗生素杂志,2018(2):223-227.
- [3] 罗娟,陈彪,郑珊,等.氟苯尼考 β -环糊精包合物的制备[J].中兽医医药杂志,2015,34(1):58-62.
- [4] 马素英,尚校军,闫福林.氟苯尼考 β -环糊精包合物的制备与表征研究[J].湖北农业科学,2011,50(4):802-806.
- [5] 魏海涛,宋敏,李亮华,等.氟苯尼考- β -环糊精包合物的研制[J].华南农业大学学报,2009,30(4):94-97.
- [6] 魏小藏,刘卫,周小顺,等.氟苯尼考- β -环糊精包合物的制备研究[J].中南药学,2006,4(6):406-409.
- [7] 赵玲,苏健裕,陈建平,等.氟苯尼考- β -环糊精包合物的结构表征[J].食品工业科技,2012,33(20):148-150,155.
- [8] 国家兽药典委员会.中华人民共和国兽药典:2015 年版一部[S].北京:中国农业出版社,2015:191-192.
- [9] SEMCHEDDINE F, GUISSI N E I, LIU X Y, et al. Effects of the preparation method on the formation of true nimodipine SBE- β -CD/ HP- β -CD inclusion complexes and their dissolution rates enhancement[J]. AAPS PharmSciTech, 2015, 16(3):704-715.
- [10] 胡帅.一种超声波-离心干燥法制备氟苯尼考- β -环糊精包合物的方法:CN107693801A [P].2018-02-16.

(上接第 38 页)

参考文献

- [1] SOMLYAI G. The biological effects of deuterium depletion[M]. Bloomington: Ist Book Librang, 2002:47-65.
- [2] ARTSYBASHEVA O, BARYSHEVA E, SHASHKOV D, et al. Changes of oxidation during use the food diet with deuterium depleted water in laboratory animals with purulent inflammation[J]. Russian open medical journal, 2014, 3(2):201.
- [3] MOLNÁR M, HORVÁTH K, DANKÓ T, et al. Effect of deuterium oxide (D2O) content of drinking water on glucose metabolism in STZ-induced diabetic rats[C]//MARTIROSYAN D M. Functional foods in the prevention and management of metabolic syndrome: 7th international conference. [s.l.]: Food Science Publisher, 2010.
- [4] STREKALOVA T, EVANS M, CHERNOPIATKO A, et al. Deuterium content of water increases depression susceptibility: The potential role of a serotonin-related mechanism[J]. Behavioural brain research, 2015, 277:237-244.
- [5] WANG H Q, ZHU B H, HE Z W, et al. Deuterium-depleted water (DDW)

- inhibits the proliferation and migration of nasopharyngeal carcinoma cells in vitro[J]. Biomedicine & pharmacotherapy, 2013, 67(6):489-496.
- [6] BOROS L G, D' AGOSTINO D P, KATZ H E, et al. Submolecular regulation of cell transformation by deuterium depleting water exchange reactions in the tricarboxylic acid substrate cycle [J]. Medical hypotheses, 2016, 87:69-74.
- [7] 杨晓,余志,高丽伟,等.叶用莴苣抗氧化物及其生物活性研究进展[J].中国蔬菜,2015(2):17-24.
- [8] TANASE C, STANGU A, VOLF I, et al. The effect of spruce bark polyphenols extract in combination with deuterium depleted water (DDW) on *Glycine max* L. and *Helianthus annuus* L. development[J]. Analele Stiintifice Ale Universitii Alexandru Ioan Cuza Din Iași, 2010, 12(3):115-120.
- [9] TANASE C, BOZ I, STINGU A, et al. Physiological and biochemical responses induced by spruce bark aqueous extract and deuterium depleted water with synergistic action in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants[J]. Industrial crops & products, 2014, 60(1):160-167.
- [10] TANASE C, VOLF I, VANTU S, et al. Potential applications of wastes from energy and forestry industry in plant tissue culture[J]. Cellulose chemistry & technology, 2013, 47(7):553-563.

科技论文写作规范——数字

公历世纪、年代、年、月、日、时刻和各种计数和计量,均用阿拉伯数字。年份不能简写,如 1990 年不能写成 90 年,文中避免出现“去年”“今年”等写法。小于 1 的小数点前的零不能省略,如 0.245 6 不能写成 .245 6。小数点前或后超过 4 位数(含 4 位数),从小数点向左右每 3 位空半格,不用“,”隔开。如 18 072.235 71。尾数多的数字(5 位以上)和小数点后位数多的小数,宜采用 $\times 10^n$ (n 为正负整数)的写法。数字应正确地写出有效数字,任何一个数字,只允许最后一位存在误差。