

秸秆浸提液漂浮栽培对不结球白菜产量及相关品质特性的影响

于洪娟^{a,b}, 侯喜林^{a,b}, 季俊杰^c, 胡春梅^{a,b,①}

(南京农业大学: a. 农业部南方蔬菜遗传改良重点开放实验室, b. 作物遗传与种质创新国家重点实验室, c. 图书馆, 江苏 南京 210095)

摘要:以 1/4 园试营养液为对照,以腐熟发酵的农业秸秆(苋菜和番茄植株残体)浸提液模拟富含 N、P 的水体进行不结球白菜(*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino)的漂浮栽培,对茎叶的单株鲜质量和干质量及叶片的 V_c、可溶性蛋白质、蔗糖、果糖、葡萄糖含量及可溶性糖总含量进行了比较分析。结果表明:在 24 d 的栽培周期内,随生长时间的延长,处理组和对照组茎叶的单株鲜质量和干质量均呈增加趋势,但从第 10 天开始,处理组茎叶的单株鲜质量和干质量均显著低于对照组。栽培初期叶片 V_c 含量均最高且处理组叶片 V_c 含量显著低于对照组;从第 10 天开始,叶片 V_c 含量降低,但处理组叶片 V_c 含量与对照组无显著差异。处理组与对照组叶片可溶性蛋白质含量均呈波动的变化趋势,但总体差异不显著。处理组叶片蔗糖含量总体上与对照组差异不显著,仅在第 24 天显著低于对照组。处理组叶片的果糖含量均高于对照组,特别是在第 24 天为对照组的 1.81 倍,差异显著。叶片葡萄糖含量均呈先升高后降低的趋势,可溶性糖总含量则呈波动的变化趋势,对照组叶片葡萄糖含量和可溶性糖总含量总体上高于处理组,但差异不显著。研究结果显示:用秸秆浸提液漂浮栽培,虽然不结球白菜的生长量(即产量)有所减少,但相关的品质指标变化不大,对果糖合成和积累还有一定的促进作用,因而,此种秸秆浸提液可用于栽培商品不结球白菜。

关键词: 秸秆浸提液; 漂浮栽培; 不结球白菜; 产量; 品质

中图分类号: S634.3; S317; X712 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2011)04-0083-05

Effects of floating culture of straw extraction solution on yield and related quality traits of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis*) YU Hong-juan^{a,b}, HOU Xi-lin^{a,b}, JI Jun-jie^c, HU Chun-mei^{a,b,①} (Nanjing Agricultural University: a. Key Laboratory of Southern Vegetable Crop Genetics Improvement, Ministry of Agriculture, b. State Key Laboratory of Crop Genetics and Germplasm Enhancement, c. Library, Nanjing 210095, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2011, **20** (4): 83-87

Abstract: Using 1/4 Yuanshi nutrient solution as the control, floating culture of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino) was carried out by the extraction solution from agricultural straw (plant residues of amaranth and tomato) rotted and fermented which was simulated as water rich in N and P. Fresh and dry weights of shoot per plant, contents of V_c, soluble protein, sucrose, fructose and glucose and total content of soluble sugar in leaf were comparatively analyzed. The results indicate that during 24 d cultivation period, fresh and dry weights of shoot per plant in both the treatment and control groups all appear an increasing trend with prolonging of growth time, but starting from the 10th day, those in the treatment group are significantly lower than those in the control group. At the early cultivation stage, V_c content in leaf is the highest and that in the treatment group is significantly lower than that in the control group. And starting from the 10th day, V_c content in leaf decreases, but there is no significant difference between the treatment and control groups. Soluble protein contents in leaf in the treatment and control groups all appear a fluctuation change trend, but generally, there is no

收稿日期: 2011-03-30

基金项目: 江苏省科技支撑计划项目(BE2009348)

作者简介: 于洪娟(1988—),女,黑龙江齐齐哈尔人,硕士研究生,研究方向为蔬菜遗传育种。

①通信作者 E-mail: jijhcm@njau.edu.cn

significant difference. Generally, sucrose content in leaf in the treatment group has no significant difference with that in the control group, but is significantly lower than that in the control group only at the 24th day. Fructose contents in leaf in the treatment group all are higher than those in the control group, especially at the 24th day, which is 1.81 times to that in the control group with significant difference. Glucose content in leaf appears firstly increasing and then decreasing trend and total content of soluble sugar in leaf appears a fluctuation change trend, and those in the treatment group all are lower than those in the control group, but there is no significant difference. It is indicated that although the growth amount (namely yield) of non-heading Chinese cabbage declines by floating culture with straw extraction solution, but its related quality indexes have no obvious change and synthesis and accumulation of fructose are even improved. Therefore, this straw extraction solution can be used for cultivating the commercial non-heading Chinese cabbage.

Key words: straw extraction solution; floating culture; non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino); yield; quality

近年来农业化肥的过量施用以及规模化畜禽养殖的废弃物排放导致江河湖泊的污染,使水体 N、P 富集问题日趋严重,造成湿地和湖泊生态治理困难重重。及时吸收和利用水体中富集的 N、P 等元素,不仅可以减少农业投资的浪费,还有助于防止江河湖泊的生态恶化,净化污染水体;同时可以充分利用其中的有效成分,产生可观的经济效益^[1]。

相关研究结果表明:用富营养化污水灌溉能增加土壤有机质含量、提高土壤肥力,甚至能替代肥料营养^[2-4];廖林仙等^[5]用添加 EM(复合微生物菌剂)的牛奶厂废水灌溉不结球白菜(*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino),其产量没有明显变化;邵孝侯等^[6]用生活污水灌溉不结球白菜,其生长与品质均有不同程度下降;周振民^[7]认为:以生活污水浇灌作物,常常存在重金属及其他有毒物质超标的问题;王卫平等^[8]的研究结果显示:用沼液进行浇灌,对萝卜(*Raphanus sativus* L.)产量的影响不大,但可以提高萝卜的品质。因而,尽管污水栽培对植物生长与作物品质影响的相关研究较多,但结论并不一致^[9-11]。

中国的农业秸秆资源较为丰富,但利用率较低,作物收获后大量秸秆被焚烧,不仅造成资源的浪费,还导致大气环境的污染。以农业秸秆发酵技术获得的浸提液无毒无污染,且富含 N、P 等元素,但目前用农业秸秆浸提液进行作物漂浮栽培的研究较少,农业秸秆浸提液的利用还缺乏足够的理论依据以及切实可行的技术方法。

不结球白菜又称青菜、小白菜或油菜,是常用蔬菜之一;不结球白菜属于叶菜类,生长快、生产周期短,是用于农业秸秆浸提液漂浮栽培的理想材料之一。作者以不结球白菜为实验材料,研究了农业秸秆

浸提液漂浮栽培对不结球白菜产量及相关品质性状的影响,以期为农业秸秆等有机废弃物的有效利用和农业水体的生态修复提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试的不结球白菜品种‘短白梗’种子由南京农业大学白菜课题组提供。

1.2 方法

将等体积的苋菜(*Amaranthus tricolour* L.)和番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)植株残体混合,加水浸没并泡沏2周,取浸提液,加入植株残体55倍体积的自来水混合均匀,以园试营养液母液调节秸秆浸提液电导率至 $725 \mu\text{S} \cdot \text{dm}^{-1}$,混匀后即供试的秸秆浸提液。经测定,此秸秆浸提液中不含重金属元素。对照为1/4园试营养液,含 $4.333 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}\text{N}$ 、 $0.333 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}\text{P}$ 、 $2.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}\text{K}$ 、 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}\text{Ca}$ 、 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}\text{Mg}$ 和 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}\text{S}$ 及1/4通用配方的微量元素,电导率为 $725 \mu\text{S} \cdot \text{dm}^{-1}$ 。

实验设3次重复,随机区组设计。培养池容积约 2.5 m^3 (长250 cm、宽225 cm、高45 cm)。对照组水池3个,分别放入1/4园试营养液 2.2 m^3 ;处理组水池3个,分别放入同体积搅拌均匀的秸秆浸提液。

2010年5月11日,将不结球白菜种子浸种催芽后播种在72孔穴盘中,在南京农业大学实验大棚中育苗。育苗基质为V(草炭):V(蛭石)=3:1,每3天浇灌1次1/2园试营养液,当植株长至三叶一心时(5月25日)移栽到培养池中;以5 cm厚泡沫板做支撑,栽培间距为 $12 \text{ cm} \times 11 \text{ cm}$;每池用2块泡沫板栽

培160棵苗,正好覆盖水面的1/2。用充气泵每小时充气20 min。移栽后的前3天,覆盖透光率60%的遮阳网缓苗,以后在正常光照条件下培养。

移栽后的第3天(5月28日)、第10天(6月4日)、第17天(6月11日)和第24天(6月18日),从每一培养池中随机选取3株植株,从根颈处切开,取茎叶,用千分之一天平称取鲜质量;然后于105℃条件下处理5 min,并于60℃条件下干燥至恒质量,称取干质量。选取植株上部第4片至第5片完全展开的新鲜功能叶,用2,2-联吡啶比色法^[12]测定V_c含量;用考马斯亮蓝法^[13]测定可溶性蛋白质含量;用蒽酮比色法^[14]测定葡萄糖、蔗糖、果糖含量和可溶性糖总含量。

1.3 数据分析

用SAS 8.0软件进行数据分析。

表1 秸秆浸提液漂浮培养对不结球白菜茎叶单株鲜质量和干质量的影响¹⁾

Table 1 Effect of floating culture by straw extraction solution on fresh and dry weights of shoot per plant of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino)¹⁾

组 ²⁾ Group ²⁾	不同日期(MM-DD)的单株鲜质量/g Fresh weight per plant at different dates (MM-DD)				不同日期(MM-DD)的单株干质量/g Dry weight per plant at different dates (MM-DD)			
	05-28	06-04	06-11	06-18	05-28	06-04	06-11	06-18
	CK	24.81±4.85a	138.29±30.04a	276.98±27.55a	279.22±34.08a	1.94±0.32a	9.58±1.34a	11.44±1.03a
SE	21.02±1.23a	81.59±6.61b	164.57±20.89b	230.34±13.92b	1.59±0.32a	6.22±0.78b	8.17±0.32b	11.63±0.32b

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$).

²⁾ CK: 对照组,为1/4园试营养液 The control group with 1/4 Yuanshi nutrient solution; SE: 处理组,为秸秆浸提液 The treatment group with straw extraction solution.

(6月4日)开始对照组的茎叶单株鲜质量和干质量均显著高于处理组,其中第24天处理组和对照组的茎叶单株鲜质量分别可达279.22和230.34 g,单株干质量分别可达13.77和11.63 g。实验结果表明:秸秆浸提液漂浮培养对不结球白菜的生长量有一定的抑制作用。

2.2 对不结球白菜叶片V_c含量的影响

经番茄和苋菜秸秆的混合浸提液漂浮培养,不同时间不结球白菜叶片的V_c含量见表2。由表2可见:处理组不结球白菜叶片的V_c含量变化规律与对照组基本一致。栽培初期(5月28日)叶片V_c含量均最高,且对照组的叶片V_c含量显著高于处理组;第10天(6月4日)至第17天(6月11日),叶片V_c含量迅速降低,且处理组叶片的V_c含量高于对照组但二者差异不显著;第24天(6月18日),叶片V_c含量有所增加,且对照组的叶片V_c含量略高于处理组,但二者

2 结果和分析

2.1 对不结球白菜生长量的影响

用番茄和苋菜秸秆的混合浸提液漂浮培养,不同时间不结球白菜茎叶单株鲜质量和干质量的变化见表1。由表1可见:从移栽后第3天(5月28日)开始,对照组(1/4园试营养液)和处理组(秸秆浸提液)的茎叶单株鲜质量和干质量迅速增加,至第24天(6月18日)时,对照组的茎叶单株鲜质量增加幅度明显减小,而处理组的茎叶单株鲜质量继续保持增加趋势;在栽培后,对照组及处理组的茎叶单株干质量随培养时间的延长均呈逐渐增加的趋势。

由表1的数据还可见:在第3天对照组及处理组的茎叶单株鲜质量和干质量差异不显著;自第10天

表2 秸秆浸提液漂浮培养对不结球白菜叶片V_c含量的影响¹⁾

Table 2 Effect of floating culture by straw extraction solution on V_c content in leaf of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino)¹⁾

组 ²⁾ Group ²⁾	不同日期(MM-DD)的V _c 含量/mmol·g ⁻¹ V _c content at different dates (MM-DD)			
	05-28	06-04	06-11	06-18
	CK	1.81±0.08a	0.64±0.11a	0.70±0.19a
SE	1.52±0.23b	0.80±0.08a	0.74±0.24a	0.96±0.06a

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$).

²⁾ CK: 对照组,为1/4园试营养液 The control group with 1/4 Yuanshi nutrient solution; SE: 处理组,为秸秆浸提液 The treatment group with straw extraction solution.

差异不显著。实验结果表明,除栽培初期对照组和处理组植株的V_c含量有所差异外,秸秆浸提液漂浮培养对不结球白菜叶片的V_c含量无明显影响;且栽培后需大约2周的时间,叶片的V_c含量可逐渐积累和提高。

2.3 对不结球白菜叶片可溶性蛋白质含量的影响

经番茄和苋菜秸秆的混合浸提液漂浮培养,不同时间不结球白菜叶片中可溶性蛋白质含量的变化见表3。

表3 秸秆浸提液漂浮培养对不结球白菜叶片可溶性蛋白质含量的影响¹⁾

Table 3 Effect of floating culture by straw extraction solution on soluble protein content in leaf of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino)¹⁾

组 ²⁾ Group ²⁾	不同日期(MM-DD)的可溶性蛋白质含量/mg·g ⁻¹ Soluble protein content at different dates (MM-DD)			
	05-28	06-04	06-11	06-18
CK	13.79±2.57a	17.54±1.95a	10.90±0.44a	18.55±3.50a
SE	12.50±1.86a	18.48±2.20a	9.17±1.59b	18.39±2.62a

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

²⁾ CK: 对照组,为1/4园试营养液 The control group with 1/4 Yuanshi nutrient solution; SE: 处理组,为秸秆浸提液 The treatment group with straw extraction solution.

表4 秸秆浸提液漂浮培养对不结球白菜叶片可溶性糖类含量的影响¹⁾

Table 4 Effect of floating culture by straw extraction solution on soluble sugar content in leaf of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino)¹⁾

组 ²⁾ Group ²⁾	不同日期(MM-DD)的蔗糖含量/mg·g ⁻¹ Sucrose content at different dates (MM-DD)				不同日期(MM-DD)的果糖含量/mg·g ⁻¹ Fructose content at different dates (MM-DD)			
	05-28	06-04	06-11	06-18	05-28	06-04	06-11	06-18
CK	7.68±0.38a	9.55±0.73a	6.79±0.49a	9.15±0.22a	2.65±0.54a	1.50±0.58b	1.68±0.23a	1.66±0.24b
SE	6.60±0.19a	10.98±0.59a	6.99±0.57a	7.20±0.81b	3.01±0.34a	2.06±0.36a	1.81±0.50a	3.01±0.48a

组 ²⁾ Group ²⁾	不同日期(MM-DD)的葡萄糖含量/mg·g ⁻¹ Glucose content at different dates (MM-DD)				不同日期(MM-DD)的可溶性糖总含量/mg·g ⁻¹ Total content of soluble sugar at different dates (MM-DD)			
	05-28	06-04	06-11	06-18	05-28	06-04	06-11	06-18
CK	4.84±0.12a	5.10±1.87a	4.70±1.69a	3.88±1.41a	15.17±0.34a	16.14±1.06a	13.17±0.80a	14.69±0.62a
SE	3.87±0.32a	4.76±1.51a	3.53±1.51a	3.76±1.90a	13.48±0.28a	17.80±0.82a	12.33±0.86a	13.97±1.07a

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

²⁾ CK: 对照组,为1/4园试营养液 The control group with 1/4 Yuanshi nutrient solution; SE: 处理组,为秸秆浸提液 The treatment group with straw extraction solution.

24天(6月18日)对照组的叶片蔗糖含量显著高于处理组。总体上看,对照组与处理组叶片蔗糖含量差异不明显。

移栽后的第3天,处理组和对照组叶片果糖含量均较高,且二者差异不显著;在第10天,处理组与对照组叶片果糖含量均大幅度降低,且处理组显著高于对照组;在第17天,对照组叶片果糖含量略有增加,而处理组则持续降低,但仍高于对照组,且二者差异不显著;在第24天,对照组叶片果糖含量变化幅度很小,而处理组则大幅度提高,且显著高于对照组,为对照组的1.81倍。总体上看,处理组叶片果糖含量均

处理组叶片可溶性蛋白质含量的变化规律与对照组基本一致,二者均呈波动变化。栽培初期(5月28日)叶片可溶性蛋白质含量较低,第10天(6月4日)则大幅增加,在第17天(6月11日)降至最低,第24天(6月18日)又大幅增加。另外,总体上看,对照组与处理组的叶片可溶性蛋白质含量差异不显著。实验结果表明:秸秆浸提液漂浮培养对不结球白菜叶片的可溶性蛋白质含量无明显影响。

2.4 对不结球白菜叶片可溶性糖类含量的影响

经番茄和苋菜秸秆的混合浸提液漂浮培养,不同时间不结球白菜叶片中的蔗糖、果糖、葡萄糖含量及可溶性糖总含量的变化见表4。

由表4可以看出:处理组和对照组叶片中的蔗糖含量变化趋势一致,均呈现波动变化,在第3天(5月28日)、第10天(6月4日)和第17天(6月11日),处理组与对照组叶片蔗糖含量差异不显著,但在第

高于对照组。

对照组和处理组叶片葡萄糖含量的变化趋势均呈先升高后降低的趋势,且对照组叶片葡萄糖含量均高于处理组,但差异不显著。而处理组和对照组叶片可溶性糖总含量均呈波动的变化趋势,二者基本一致;且总体上对照组的可溶性糖总含量高于处理组,但差异不显著。

由上述分析结果可见:用秸秆浸提液漂浮培养对不结球白菜叶片的可溶性糖类的合成没有明显的抑制作用,甚至对果糖的合成和积累还表现出一定的促进作用。

3 讨论和结论

采用漂浮方法栽培蔬菜作物,产量是重要指标之一。采用腐熟发酵的苋菜和番茄秸秆浸提液培养的不结球白菜茎叶单株鲜质量和干质量在栽培后 24 d 内均低于对照,一方面是因为该秸秆浸提液中所含的 N、P 元素的比例未经科学调配,营养元素的不平衡致使不结球白菜生长较缓慢;另一方面,该秸秆浸提液未经消毒和杀虫,其中可能含有一些致病菌或啃食性生物,浸染或啃食植株根系,对根系生长有直接影响,进而抑制地上部分器官的生长,致使不结球白菜产量降低。

V_c 含量是评价蔬菜品质的首要指标^[15-16]。用苋菜和番茄秸秆浸提液培养的不结球白菜叶片 V_c 含量在栽培初期(5月28日)低于对照组,在第10天(6月4日)和第17天(6月11日)略高于对照组,在第24天(6月18日)略低于对照,但总体差异不显著,说明栽培初期处理组的植株缓苗较慢,但由于该秸秆浸提液含有一些有机成分以及大量的微生物,对植物体内的 V_c 合成有一定的促进作用,从而使不结球白菜体内的 V_c 含量恢复至对照的水平。用秸秆浸提液培养的不结球白菜叶片可溶性蛋白质含量与对照差异不显著,表明该秸秆浸提液中的养分能够满足可溶性蛋白质合成所需。

含糖量是叶菜品质评价的重要指标之一。蔗糖是植物储藏、积累和运输糖分的主要形式,也是蔬菜品质构成的重要因素^[17]。用苋菜和番茄秸秆浸提液培养的不结球白菜叶片的蔗糖和葡萄糖含量及可溶性糖总含量与对照差异不显著;而果糖含量均高于对照。表明该秸秆浸提液所含的营养成分可以满足植株体内的糖代谢,且其中可能含有一些对果糖合成有益的成分。

采用番茄和苋菜秸秆浸提液培养的不结球白菜的茎叶单株鲜质量和干质量均小于对照组,表明该秸秆浸提液可导致不结球白菜的产量有所下降;但用该秸秆浸提液培养的不结球白菜叶片的 V_c 、可溶性蛋白质、葡萄糖和蔗糖含量以及可溶性糖总含量均与对照差异不显著,且叶片的果糖含量均高于对照组,表明不结球白菜品质与对照相比没有显著的变化。研究结果显示:采用该秸秆浸提液漂浮培养,虽然不结

球白菜的产量有所减少但其品质变化不大,说明此种富含 N、P 的秸秆浸提液可用于不结球白菜的栽培,具备生产商品不结球白菜的潜力。

参考文献:

- [1] 宰松梅,王朝辉,仵峰,等. 污水灌溉的思考[J]. 节水灌溉, 2007(5): 11-13.
- [2] Hussain G, Al-Jaloud A A. Effect of irrigation and nitrogen on yield, yield components and water use efficiency of barley in Saudi Arabia [J]. Agricultural Water Management, 1998, 36(1): 55-70.
- [3] Yadav R K, Goyal B, Sharma R K, et al. Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water; a case study [J]. Environment International, 2002, 28(6): 481-486.
- [4] Lubello C, Gori R, Nicese F P, et al. Municipal-treated wastewater reuse for plant nurseries irrigation [J]. Water Research, 2004, 38(12): 2939-2947.
- [5] 廖林仙, 邵孝侯, 李洪良, 等. EM 用于污水灌溉对小白菜产量和土壤肥力的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(2): 704-707.
- [6] 邵孝侯, 廖林仙, 李洪良. 生活污水灌溉小白菜的盆栽试验研究 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 89-93.
- [7] 周振民. 土壤重金属污染作物体内分布特征和富集能力研究 [J]. 华北水利水电学院学报, 2010, 31(4): 1-5.
- [8] 王卫平, 朱凤香, 陈晓晓, 等. 沼液浇灌对土壤质量和萝卜产量品质的影响 [J]. 中国农学通报, 2009, 25(24): 484-487.
- [9] Emongor V E, Ramolemana G M. Treated sewage effluent (water) potential to be used for horticultural production in Botswana [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2004, 29: 1101-1108.
- [10] 夏伟立, 罗安程, 周焱, 等. 污水处理后灌溉对蔬菜产量、品质和养分吸收的影响 [J]. 科技通报, 2005, 21(1): 79-83.
- [11] 齐学斌, 钱炬炬, 樊向阳, 等. 污水灌溉国内外研究现状与进展 [J]. 中国农村水利水电, 2006(1): 13-15.
- [12] 华东师范大学生物系植物生理教研组. 植物生理学实验指导 [M]. 上海: 人民教育出版社, 1980: 125.
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 1 版. 北京: 高等教育出版社, 2000: 134-137.
- [14] 何照范. 粮油籽粒品质及其分析技术 [M]. 北京: 农业出版社, 1985: 144-155.
- [15] Li M J, Ma F W, Zhang M, et al. Distribution and metabolism of ascorbic acid in apple fruits (*Malus domestica* Borkh cv. Gala) [J]. Plant Science, 2008, 174(6): 606-612.
- [16] Wolucka B A, Montagu M V. The VTC2 cycle and the de novo biosynthesis pathways for vitamin C in plants: an opinion [J]. Phytochemistry, 2007, 68(21): 2602-2613.
- [17] 胡春梅, 侯喜林. 不结球白菜主要营养成分与品种低温耐受性的关系 [J]. 南京农业大学学报, 2010, 33(3): 37-41.

(责任编辑: 张明霞)