

不同低温积累强度对青花菜生长发育的影响

栗延茹 刘玉新 李晓程 杨光鹏 王欣 蒋欣梅* 于锡宏*

(东北农业大学园艺园林学院, 农业部东北地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150030)

摘要: 以不同熟性的青花菜品种(早熟品种中青 10 号、中早熟品种中青 9 号、中熟品种中青 8 号)为试材, 采用不同低温处理对幼苗进行春化诱导, 研究不同低温积累强度对青花菜生长发育、产量和品质的影响。结果表明: 青花菜春化处理最适温度为 15 ℃。与对照相比, 低温处理能显著加快春化进程, 且温度越低青花菜生育期越提前, 主花球结球节位越低, 但花球品质和产量却显著下降; 反之, 温度越高, 青花菜的生育期延后, 但花球产量和品质有所提高。

关键词: 青花菜; 春化; 低温积累强度; 产量; 品质

青花菜 (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck) 为十字花科芸薹属甘蓝种中以花球为产品的一、二年生草本植物, 其营养丰富且全面, 具有抗癌作用(姬丹丹和赵晓明, 2007)。青花菜虽然栽培历史较短, 但发展很快, 在英国、意大利、法国、荷兰等地广泛种植, 19 世纪开始逐渐成为欧洲和北美

国家的主要蔬菜种类之一(秦耀国等, 2004)。19 世纪末, 青花菜传入我国, 成为我国重要的出口创汇蔬菜之一(柳李旺等, 2004)。在青花菜实际生产过程中, 其现蕾、膨大、花球品质与春化过程息息相关, 春化过程中易出现以下问题: 一是通过春化过快, 出现先期现球、花球小、品质差等问题(Weibe, 1990); 二是不能通过春化, 导致不结球、没产量(Chouard, 1960); 三是通过春化的时间不一致, 导致现球期不一致、不能统一采收(丛超, 2012)。青花菜幼苗通过低温感应的能力因品种而异, 而且与温度高低、幼苗大小以及处理时间长短都有关(李家慎, 1991)。因此, 选择适宜品种、适宜播期和适宜的低温处理是种植青花菜成败的关键。

本试验以绿体春化型青花菜为试材, 选择不同

栗延茹, 女, 硕士研究生, 专业方向: 蔬菜栽培与生理, E-mail: 1264858453@qq.com

* 通讯作者 (Corresponding authors): 蒋欣梅, 女, 研究员, 硕士生导师, 专业方向: 蔬菜栽培与生理, E-mail: jxm0917@163.com; 于锡宏, 男, 教授, 博士生导师, 专业方向: 蔬菜栽培与生理, E-mail: yxh100@sohu.com

收稿日期: 2016-12-02; 接受日期: 2017-06-10

基金项目: 国家大宗蔬菜产业技术体系专项 (CARS-25-C-08), 黑龙江省应用技术与开发计划重大项目 (GA15B104-2), 黑龙江省经济作物现代农业产业技术协同创新体系项目

straw laying on soil surface were both lower in the earlier stage, and rose significantly at later period. The total yield increased 13.54% and 11.36%, respectively. In spring cultivation, the contents of soil organic matter, total N and total K increased 15.55%, 11.81% and 12.89%, respectively than that of the contrast. The content of nitrate nitrogen decreased 19.31%. In summer cultivation, the contents of soil organic matter, total K increased 12.44% and 11.71%, than that of the contrast, while the content of nitrate nitrogen decreased 25.13%. In spring cultivation with rice straw covering on soil surface, the activities of soil urease and phosphatase increased 33.16% and 8.76% than that of the contrast. And in summer cultivation, the activity of soil sucrase increased 23.15% than that of the contrast.

Key words: Plastic tunnel; Rice straw; Decomposition rate; Spinach; Yield; Soil properties

熟性的品种,在同一叶龄对其进行不同低温积累强度处理,通过解剖手段和生理生化分析,探究不同低温积累强度对春化作用的影响,以及对花球生育期、产量及品质的影响。旨在为解决青花菜春化完成不整齐以及后期花球生长发育不一致等问题提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试青花菜品种为中青 10 号(早熟)、中青 9 号(中早熟)和中青 8 号(中熟),种子均由中蔬种业科技(北京)有限公司提供。

1.2 试验方法

试验于 2015 年 5 月至 2016 年 10 月在东北农业大学园艺园林学院进行。两年均于 5 月 6 日播种于 60 cm × 36 cm × 8 cm 育苗盘中,幼苗二叶一心时分苗于 8 cm × 8 cm 的营养钵中,常规管理;待幼苗 7 叶龄时,挑选长势好且一致的植株,移至 HPG-280BX 型光照培养箱内,光照时长为 12 h,光照强度为 4 000 lx,为保证光照条件一致,每天调整植株摆放位置。

设置 3 个低温处理: T7, 平均温度为 7 ℃ [昼/夜为 (9 ± 1) ℃ / (5 ± 1) ℃]; T11, 平均温度为 11 ℃ [昼/夜为 (13 ± 1) ℃ / (9 ± 1) ℃]; T15, 平均温度为 15 ℃ [昼/夜为 (17 ± 1) ℃ / (13 ± 1) ℃]。对照平均温度为 25 ℃ [昼/夜为 (27 ± 1) ℃ / (23 ± 1) ℃]。采用 OLYMPUS SZH-ILLD BO71 型实物解剖显微镜 (60 ×) 观察青花菜花芽分化过程,并记录从处理开始到 90% 幼苗完成花芽分化的时间;当青花菜花芽分化至第 2~3 级侧花茎原基分化时标志着春化过程完成(蒋欣梅, 2004)。先通过春化的幼苗放于室内常规管理,待所有幼苗全部完成春化后,于 7 月 26 日定植于田间,垄作栽培,株距 35 cm、行距 65 cm,随机区组排列,每处理 30 株幼苗,3 次重复,田间常规管理。

1.3 春化相关指标的测定

植株生长期,每隔 3 d 通过 OLYMPUS SZH-ILLD BO71 型实物解剖显微镜 (60 ×) 观察 1 次植株生长锥的发育情况,来确定完成春化的天数;观察并记录青花菜从低温处理开始到达现蕾期、花球

膨大期、采收始期、采收末期的天数;并在花球采收期进行产量和品质的测定。可溶性固形物含量采用阿贝折射仪测定;可溶性总糖含量采用蒽酮法测定(邹琦, 2000);VC 含量采用钼蓝比色法测定(邹琦, 2000);可溶性蛋白质含量采用考马斯亮兰 G-250 法测定(王晶英, 2003);花球紧实度参考蒋欣梅(2004)的方法进行测定。

1.4 数据处理

采用 SAS 9.1 软件和 WPS 软件进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2015 年和 2016 年试验结果一致,以下仅使用 2016 年的试验数据进行分析。

2.1 不同熟性青花菜品种通过春化的时间

由表 1 可知,不同熟性青花菜品种经不同低温处理后完成春化的时间不同,处理温度越低青花菜幼苗通过春化的时间越短;熟性越早的青花菜品种越容易通过春化。最先通过春化的是早熟品种中青 10 号 7 ℃ 低温处理,完成春化的时间为 18 d;最晚通过春化的是中熟品种中青 8 号 15 ℃ 低温处理,完成春化的时间为 57 d。

表 1 不同低温积累强度对青花菜幼苗春化作用感应时间的影响

处理	春化完成时间/d		
	中青 10 号	中青 9 号	中青 8 号
T7	18 ± 1	24 ± 1	27 ± 1
T11	21 ± 1	30 ± 1	36 ± 1
T15	30 ± 1	48 ± 1	57 ± 1
对照 (CK)	30 ± 1	48 ± 1	57 ± 1

2.2 不同低温积累强度对青花菜生育期的影响

由表 2 可知,与对照相比,低温处理使青花菜各生育期显著提前,随着低温积累强度的增加,各生育期提前的幅度增加;熟性早的品种受低温积累强度的影响较大。以现蕾期为例,早熟品种中青 10 号 T15、T11、T7 处理比对照依次显著提前了 11.76%、19.12%、38.24%;而中熟品种中青 8 号 T15、T11、T7 处理比对照依次显著提前了 7.69%、12.82%、19.23%。

2.3 不同低温积累强度对青花菜形态指标的影响

由表 3 可知,不同熟性青花菜品种的株高、开展度及主花球结球节位均在低温积累强度最高

(T7) 时值最小; 株高及开展度在 T11 或者 T15 处理时出现最大值, 主花球结球节位随着低温积累强度的增加而显著降低; 相同低温积累强度处理下, 早熟品种中青 10 号受低温积累强度的影响较大。

2.4 不同低温积累强度对青花菜花球品质的影响

由表 4 可知, T7 和 T11 处理的青花菜花球可溶性蛋白质含量降低, 且随着低温积累强度的增加显著降低, 而 T15 处理的花球可溶性蛋白质含量与对照差异不显著; T7 处理早熟品种中青 10 号、中早熟品种中青 9 号和中熟品种中青 8 号的花球可溶性蛋白质含量分别比相应对照显著降低了 37.76%、7.39%、11.86%, 说明过低的温度处理 (7 °C) 显著降低花球可溶性蛋白质含量, 熟性早的品

种受低温影响的程度更大。低温处理的青花菜花球可溶性固形物含量显著低于对照, 且随着低温积累强度的增加而降低, 说明过低的温度处理显著降低花球可溶性固形物含量, 适宜低温处理 (15 °C) 可以减少其降低的程度。经低温处理的青花菜花球 VC 含量均显著高于对照, 且随着低温积累强度的减小, 花球 VC 含量增加, 说明低温处理可增加花球 VC 含量, 15 °C 低温处理各熟性品种花球 VC 含量最高。随着低温积累强度减小, 青花菜花球可溶性糖含量显著增加; 15 °C 低温条件下, 早熟品种中青 10 号、中早熟品种中青 9 号和中熟品种中青 8 号的花球可溶性糖含量分别比对照显著增加了 8.34%、6.97%、3.31%, 说明适宜的低温处理可以显著提高花球可溶性糖含量。

表 2 不同低温积累强度对青花菜主要生育期的影响

处理	现蕾期/d			膨大期/d			采收初期/d			采收末期/d		
	中青 10 号	中青 9 号	中青 8 号	中青 10 号	中青 9 号	中青 8 号	中青 10 号	中青 9 号	中青 8 号	中青 10 号	中青 9 号	中青 8 号
T7	42±1 d	51±1 d	63±1 d	50±1 d	65±1 d	79±1 c	56±1 c	75±1 d	82±1 d	62±1 c	79±1 d	93±1 b
T11	55±2 c	65±1 c	68±1 c	63±2 c	69±1 c	79±1 c	81±1 b	86±1 c	92±1 c	95±2 b	92±1 c	109±1 a
T15	60±1 b	68±1 b	72±2 b	70±1 b	75±2 b	83±1 b	81±2 b	93±1 b	97±2 b	96±1 b	98±1 b	110±1 a
对照 (CK)	68±1 a	75±2 a	78±1 a	79±1 a	83±1 a	85±1 a	92±1 a	103±1 a	107±1 a	107±1 a	109±1 a	110±1 a

注: 表中同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($\alpha=0.05$), 下表同。

表 3 不同低温积累强度对青花菜形态指标的影响

处理	株高/cm			开展度/cm			主花球结球节位/节		
	中青 10 号	中青 9 号	中青 8 号	中青 10 号	中青 9 号	中青 8 号	中青 10 号	中青 9 号	中青 8 号
T7	37.00±0.27 c	48.83±0.60 c	46.33±0.21 b	37.30±0.57 c	61.67±0.27 c	57.33±0.53 c	20.00±0.34 d	24.33±0.67 c	24.33±0.53 d
T11	51.25±0.41 b	54.00±0.64 b	60.67±0.63 a	79.53±0.73 a	78.67±0.46 a	80.67±0.75 a	23.67±0.65 c	25.33±0.33 b	26.33±0.34 c
T15	55.30±0.33 a	57.00±0.40 a	59.33±0.67 a	80.80±0.67 a	78.00±0.78 a	81.50±0.77 a	25.67±0.31 b	25.00±0.77 b	27.00±0.64 b
对照 (CK)	52.05±0.42 b	55.33±0.77 b	58.67±0.33 a	61.50±0.17 b	77.67±0.29 b	74.00±0.67 b	26.60±0.33 a	27.67±0.26 a	28.67±0.77 a

表 4 不同低温积累强度对青花菜花球品质的影响

处理	可溶性蛋白质/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW)			可溶性固形物/%			VC/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$			可溶性糖/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$		
	中青 10 号	中青 9 号	中青 8 号	中青 10 号	中青 9 号	中青 8 号	中青 10 号	中青 9 号	中青 8 号	中青 10 号	中青 9 号	中青 8 号
T7	26.27±1.07 c	19.30±0.67 c	18.43±0.69 c	1.531±0.002 c	1.543±0.002 c	1.539±0.001 c	473.37±9.42 b	604.78±12.11 b	696.67±13.92 c	10.24±0.11 c	11.13±0.52 c	15.87±0.32 c
T11	37.43±1.03 b	19.93±0.71 b	19.68±0.75 b	1.555±0.001 b	1.549±0.002 b	1.547±0.001 b	587.50±11.73 a	762.79±15.22 a	720.80±14.37 b	13.26±0.34 b	12.54±0.30 b	16.33±0.29 b
T15	42.34±1.09 a	21.45±0.75 a	21.71±0.76 a	1.556±0.001 b	1.553±0.002 b	1.549±0.001 b	592.80±11.88 a	774.08±15.43 a	758.11±15.16 a	14.81±0.18 a	13.20±0.31 a	16.85±0.27 a
对照 (CK)	42.21±1.01 a	20.84±0.73 a	20.91±0.78 a	1.559±0.001 a	1.557±0.001 a	1.553±0.001 a	450.80±0.92 c	552.82±11.12 c	542.07±10.81 d	13.67±0.23 b	12.34±0.22 b	16.31±0.17 b

由图 1 可知, 青花菜花球紧实度呈单峰曲线变化, 随着低温积累强度的降低花球紧实度显著增加。各熟性青花菜品种 T15 处理的花球紧实度均显著高于其他处理, 早熟品种中青 10 号、中早熟品种

中青 9 号和中熟品种中青 8 号的花球紧实度分别比相应对照显著增加 7.93%、29.72%、9.57%; 而 T7 处理各熟性青花菜品种的花球紧实度均显著低于其他处理。说明低温积累强度过大使青花菜花球紧实

度降低, 适宜低温处理 (15 ℃) 使可以花球紧实度增加。

2.5 不同低温积累强度对青花菜产量的影响

由图 2 可知, 青花菜花球产量随低温积累强度减弱呈单峰曲线变化, T15 处理的花球产量显著高于相应品种的其他处理, 早熟品种中青 10 号、中早熟品种中青 9 号和中熟品种中青 8 号的花球产量比相应对照分别显著增加 14.04%、41.21%、9.38%; T7 处理的花球产量显著低于相应品种的其他处理, 早熟品种中青 10 号、中早熟品种中青 9 号和中熟品种中青 8 号的花球产量比相应对照分别显著降低 76.49%、29.73%、35.40%。说明低温积累强度过大使花球产量明显降低, 适宜低温处理 (15 ℃) 可以使花球产量增加。

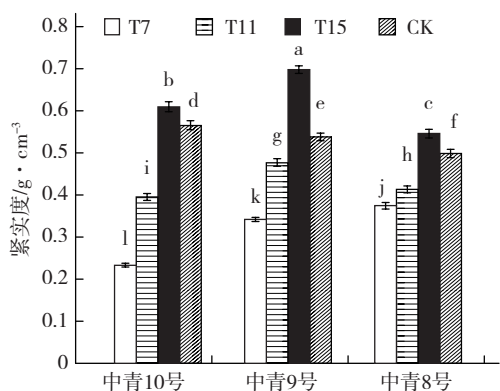


图 1 不同低温积累强度对青花菜花球紧实度的影响
图柱上不同小写字母表示差异显著 ($\alpha=0.05$), 下图同。

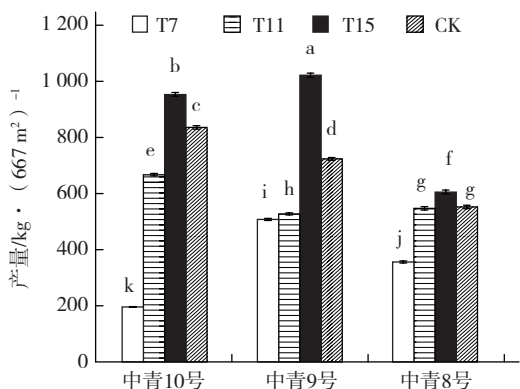


图 2 不同低温积累强度对青花菜花球产量的影响

3 结论与讨论

高等植物的成花过程是植物个体发育的中心环节 (王淑芬等, 2003), 它是始于特定环境条件下

而进行的成花决定过程, 此后生长点才开始花或花序的分化 (种康等, 2000)。低温对春化有促进作用, 本试验中春化低温积累强度越高, 青花菜完成春化作用所用天数越少, 促进了花球的发育, 使其各生育期提前。

青花菜幼苗期的生长适温为 15~20 ℃, 适当增加昼夜温差、进行适当的低温锻炼, 有利于壮苗培育, 但苗期温度若长时间低于 5 ℃, 则生长缓慢, 过早通过春化阶段而出现早花, 影响产量和品质; 若长时间高于 25 ℃, 则容易引起植株徒长 (李合生, 2012)。本试验在不同低温积累强度处理结束时, 15 ℃低温处理的青花菜幼苗长势好, 植株颜色深, 田间植株营养生长旺盛, 而对照植株表现相对矮小。这可能是由于低温处理时对照夜间温度较高, 呼吸作用较强, 更多的有机物被氧化分解成简单物质, 使其消耗较大, 继而田间表现为株高及开展度较小。

对于青花菜花球内在品质, 可溶性固形物是所有可溶于水的化合物总称, 即包括糖类、酸类、维生素、矿物质等 (孔焱, 1973)。从本试验结果来看, 15 ℃低温处理的青花菜花球可溶性糖、VC 含量显著增加, 可溶性蛋白质含量差异不显著, 但可溶性固形物含量比相应对照显著降低。可溶性固形物中的部分物质含量增加, 但可溶性固形物含量降低, 笔者推测原因是酸或矿物质含量的降低引起的, 但具体原因有待进一步测定。

Fujime 和 Okuda (1996) 认为, 与花蕾期相比, 青花菜在花球形成后受低温影响的程度更大, 如果花球形成后遇到低温或不能满足温度条件, 将影响花球紧实度及产量。了解这一特性对指导青花菜的生产和安排栽培季节非常重要, 花球形成时若温度高于 25 ℃, 则植株易徒长, 花蕾易失绿、变黄、老化、松散; 而温度低于 5 ℃则生育迟缓, 花球产量下降。本试验结果表明, 青花菜花球产量及品质随着春化低温积累强度的降低而增加, 在较强的低温积累强度 (7 ℃) 时最小, 这主要是因为植株过早春化引起先期现球。一般情况下熟期越晚产量越高 (金剑等, 2004), 而本试验中中熟品种中青 8 号的产量在任何处理下都低于早熟品种中青 10 号和中早熟品种中青 9 号, 这可能是由于植株定植时间稍晚 (许映君等, 2012), 2016 年试验地霜冻较

早,在整个种植过程结束时,并没有完成花球的全部生长发育过程,从而导致产量低、花球紧实度差。因此,为使其完成整个生育期的生长发育,定植时间应提早,具体定植时间有待进一步研究。

综上,青花菜春化处理最适温度为 15 ℃。与对照相比,低温处理能显著加快春化进程,且温度越低,青花菜生育期越提前,主花球结球节位越低,但花球的品质和产量却显著下降;反之,温度越高,青花菜的生育期延后,但花菜产量和品质有所提高。

参考文献

- 丛超. 2012. 外源激素处理对青花菜成花的研究 [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北农业大学.
- 蒋欣梅. 2004. 低温对结球甘蓝花芽分化及相关生理指标的影响 [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北农业大学.
- 姬丹丹, 赵晓明. 2007. 青花菜的抗癌作用及药用多倍体育种研究前景. 中国蔬菜, (8): 39-41.
- 金剑, 刘晓冰, 王光华. 2004. 不同熟期及产量类型的大豆生殖生长期生理特性的比较研究. 作物学报, 30 (12): 1225-1231.
- 孔淼. 1973. 可溶性固形物. 柑橘科技通讯, (z1): 30.
- 李合生. 2012. 现代植物生理学. 3版. 北京: 高等教育出版社: 170-172.
- 李家慎. 1991. 花椰菜的生长发育动态. 长江蔬菜, (4): 4-7.
- 柳李旺, 龚一勤, 陈忠. 2004. 美国加州青花菜生产及其关键技术. 中国蔬菜, (2): 57-58.
- 孟繁静. 2000. 植物花发育的分子生物学. 北京: 中国农业出版社: 86-105.
- 秦耀国, 雷剑锋, 曹必好. 2004. 青花菜遗传育种与生物技术应用研究进展. 北方园艺, (2): 11-13.
- 王晶英. 2003. 植物生理生化实验技术与原理. 哈尔滨: 东北林业大学出版社: 22-23, 35-38.
- 王淑芬, 徐文玲, 何启伟. 2003. 春化深度对萝卜抽薹的影响及抽薹过程中 GA₃ 和 IAA 含量的变化. 山东农业科学, (6): 20-21.
- 许映君, 范雪莲, 蔡娜丹, 张庆, 龚亚飞. 2012. 播种期和栽培方式对春季青花菜产量和商品性的影响. 浙江农业科学, (8): 1125-1126.
- 种康, 许智宏, 谭克辉. 2000. 小麦春化相关基因在成花过程中的功能研究. 中国科学基金, 14 (1): 31-34.
- 邹琦. 2000. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业出版社: 131-135.
- Chouard P. 1960. Vernalization and its relations to dormancy. Ann Rev of Plant Physiol, 11: 191-208.
- Fujime Y, Okuda N. 1996. The physiology of flowering in brassicas especially about cauliflower and broccoli. Acta-Horticulturae, 407: 247-254.
- Weibe J H. 1990. Vernalization of vegetable crop—a review. Acta horticulture, 276: 323-328.

Effects of Different Low-temperature Accumulation Intensity on Growth and Development of Broccoli

LI Yan-ru, LIU Yu-xin, LI Xiao-cheng, YANG Guang-peng, WANG Xin, JIANG Xin-mei*, YU Xi-hong*

[Horticulture and Landscape Architecture College of Northeast Agricultural University, Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (Northeast region), Ministry of Agriculture, Harbin 150030, Heilongjiang, China]

Abstract: Three broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck) cultivars, including early maturity 'Zhongqing No.10', mid-early maturity 'Zhongqing No.9' and medium maturity 'Zhongqing No.8' were taken as experimental material and treated with different low temperature for vernalisation to explore the effects of different low-temperature accumulation intensity on broccoli growth, development, yield and quality. The results showed that the optimum temperature for broccoli vernalisation is 15 ℃. Compared with the control, low temperature treatment could significantly facilitate the vernalisation process and the lower temperature is, the shorter growth duration, and the lower the node order of the main ball-flower is, but the yield and quality of broccoli were reduced significantly. On the contrary, the higher temperature is, the longer growth duration is, while the yield and quality of broccoli were improved.

Key words: Broccoli; Vernalization induce; Low temperature accumulation intensity; Yield; Quality