

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.202423.0675

# 烯效唑+褪黑素对水果萝卜先期抽薹及品质的影响

崔玉莹, 白冰, 刘文静, 邢雨蒙, 武春成, 谢洋

(河北省特色园艺种质挖掘与创新利用重点实验室·河北科技师范学院园艺科技学院 河北秦皇岛 066004)

**摘要:**为探究褪黑素复配剂对冀东地区水果萝卜抽薹的抑制效果,以绿如玉水果萝卜为试材,待萝卜4~5片真叶时,对叶面喷施不同浓度的褪黑素复配剂,于萝卜生长50 d采样。对褪黑素复配剂处理后水果萝卜的抽薹率、肉质根性状指标和营养品质指标等数据进行比较与分析。结果表明,600 mg·L<sup>-1</sup>烯效唑+750 μmol·L<sup>-1</sup>褪黑素抑制萝卜先期抽薹综合效果最佳。该处理抽薹率为12.90%,较CK(清水)降低了36.1%;单根质量为450 g,较CK提高了2.28%;可溶性蛋白含量(w,后同)为4.18 mg·g<sup>-1</sup>,较CK提高了23.3%;可溶性糖含量为1.63%,较CK提高了41.74%;可溶性固形物含量为5.99%,较CK提高了43.3%。因此,褪黑素复配剂喷施处理最佳浓度是600 mg·L<sup>-1</sup>烯效唑+750 μmol·L<sup>-1</sup>褪黑素。

**关键词:**萝卜;先期抽薹;褪黑素复配剂;抽薹率;品质

中图分类号:S631.1 文献标志码:A 文章编号:1673-2871(2024)04-071-08

## Effects of aliconazole + melatonin on early bolting and quality of fruit radish

CUI Yuying, BAI Bing, LIU Wenjing, XING Yumeng, WU Chuncheng, XIE Yang

(Hebei Key Laboratory of Horticultural Germplasm Excavation and Innovative Utilization/College of Horticulture Science and Technology, Hebei Normal University of Science and Technology, Qinhuangdao 066004, Hebei, China)

**Abstract:** In order to investigate the inhibition effect of melatonin compound on the bolting effect of fruit radish in eastern Hebei province, the LvRuYi fruit radish was used as the test material. When 4-5 true leaves of radish were left, different concentrations of melatonin compound were sprayed on the leaf surface, and samples were collected 50 days after radish growth. The data of bolting rate, fleshy root traits and nutritional quality of fruit radish treated with melatonin were compared and analyzed. The results showed that 600 mg·L<sup>-1</sup> enlobuzole +750 μmol·L<sup>-1</sup> melatonin had the best comprehensive effect on early bolting of radish. The bolting rate of the treatment was 12.90%, which was 36.1% lower than CK; single root mass was 450 g, which was 2.28% higher than CK; the soluble protein content was 4.18 mg·g<sup>-1</sup>, which was 23.3% higher than CK; the soluble sugar content was 1.63%, which was 41.74% higher than CK; and the soluble solids content was 5.99%, which was 43.3% higher than CK. In conclusion, the optimal concentration of melatonin compound spray treatment is 600 mg·L<sup>-1</sup> enlobuzole +750 μmol·L<sup>-1</sup> melatonin.

**Key words:** Radish; Inhibit bolting; Melatonin compound; Bolting rate; Quality

萝卜(*Raphanus sativus* L.)属于十字花科萝卜属一、二年生的根菜类蔬菜作物,为典型的种子春化型蔬菜,在世界范围内广泛种植。水果萝卜因风味独特、口感俱佳、可生食等特点而深受消费者喜爱。萝卜是低温长日照植物,经低温春化后便开始花芽分化,从而发生肉质根尚未成熟就抽薹的问题,即早期抽薹或先期抽薹<sup>[1]</sup>。萝卜抽薹后,肉质根停止生长,导致糠心,严重影响其产量、营养和商品

品质等<sup>[2]</sup>。冀东地区由于气候原因,春茬水果萝卜露地栽培极易出现先期抽薹现象,导致水果萝卜产量下降和品质受损,限制了春茬水果萝卜生产。如何预防冀东区春茬水果萝卜先期抽薹是萝卜栽培生产中亟待解决的重要问题。

有研究表明,植物生长调节剂对提高蔬菜的品质及产量起着重要作用<sup>[3]</sup>,用于抑制萝卜先期抽薹的主要是植物生长抑制剂和植物生长延缓剂,可以

收稿日期:2023-10-23;修回日期:2023-12-22

基金项目:河北省现代农业产业技术体系建设专项资金(HBCT2024140205)

作者简介:崔玉莹,女,在读硕士研究生,主要从事蔬菜栽培生理研究。E-mail:cyying0526@163.com

通信作者:谢洋,女,副教授,主要从事蔬菜栽培生理及分子生物学研究。E-mail:xieyangly123@163.com

武春成,男,教授,主要从事蔬菜栽培生理研究。E-mail:wuchuncheng1979@126.com

使植株矮化、抑制植物生长,使植物抗性增强<sup>[4]</sup>。徐立民等<sup>[5]</sup>通过试验发现,冬性强、肉质根发育快的萝卜品种喷施2次青鲜素100~200倍液可以有效抑制先期抽薹。饶立兵等<sup>[6]</sup>发现,在甘蓝6~7片真叶时喷施4500 mg·L<sup>-1</sup>的比久能明显抑制甘蓝抽薹。吴俊英等<sup>[7]</sup>研究发现,100 mg·L<sup>-1</sup>烯效唑能够抑制大白菜先期抽薹并且提高产量。张玉锦等<sup>[8]</sup>发现,喷施4500 mg·L<sup>-1</sup>的青鲜素(MH)显著抑制根用菊苣的抽薹和开花,甚至会导致部分植株后期不开花。武峻新<sup>[9]</sup>研究发现,三碘苯甲酸、青鲜素、比久都能够阻碍大白菜体内生长素的合成,抑制抽薹。秦成萌等<sup>[10]</sup>通过试验发现,在萝卜3片真叶期喷洒600 mg·L<sup>-1</sup>的烯效唑,可以有效降低植物体内C/N,降低萝卜现蕾率和抽薹率,同时矮化了植株,对生长无不良影响。何磊<sup>[11]</sup>通过试验发现,外源褪黑素(500~1000 μmol·L<sup>-1</sup>)可以通过提高内源MT含量,降低赤霉素、生长素、脱落酸与细胞分裂素含量来减缓花芽分化和抽薹进程,取得抑制抽薹的效果。王博美<sup>[12]</sup>研究发现,褪黑素有促进生长、增加产量的作用。李金珠<sup>[13]</sup>研究发现,褪黑素有调控根系生长的作用。

先期抽薹是春茬萝卜生产中一个主要问题,前人对单一外源物抑制萝卜先期抽薹的研究十分详尽,但对复配剂抑制萝卜先期抽薹的研究较少。笔者以不耐抽薹品种绿如玉水果萝卜为材料,采用不同浓度的烯效唑和褪黑素复配剂喷施,探究褪黑素复配剂对水果萝卜先期抽薹的抑制效果以及对产量和品质的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况和供试材料

以国家蔬菜工程技术研究中心提供的品种绿如玉水果萝卜为试验材料,该品种为水果型青萝卜一代杂交种,叶色深绿,羽状裂叶,肉质根长圆柱形,绿皮绿肉,不耐抽薹,具有抗病毒病的特性。试验于2023年4月29日至7月8日在河北省秦皇岛市昌黎县嘉诚科技园区露地进行。

### 1.2 试验设计

萝卜于2023年4月29日采用小高垄点播方式栽培,垄面25 cm,垄高23 cm,株距25 cm,行距30 cm,小区面积150 m<sup>2</sup>。待萝卜生长至24 d时(4~5片真叶),喷施不同浓度褪黑素复配剂,即烯效唑T1(300 mg·L<sup>-1</sup>)和T2(600 mg·L<sup>-1</sup>)分别与不同浓度的褪黑素(0、250、500、750、1000 μmol·L<sup>-1</sup>)组合喷

施,以清水作为对照,每隔7 d喷施1次,喷施4次,喷洒至叶片完全湿润有水珠滴落为准。完全随机设计试验,每个处理30株,3次重复,于6月19日(萝卜生长50 d)调查抽薹情况,计算抽薹率。

### 1.3 测定指标与方法

待水果萝卜生长至50 d,每个处理取3株,3次重复。按照李锡香等<sup>[14]</sup>编著的《萝卜种质资源描述规范和数据标准》测定水果萝卜单株质量、单根质量、肉质根长和肉质根粗等性状指标,并对不同浓度复配剂处理水果萝卜肉质根进行生理指标测定。参照刘永军等<sup>[15]</sup>的《植物生理生化实验》测定水果萝卜营养指标,采用手持折光仪测定肉质根可溶性固形物含量,采用滴定法测定维生素C含量,采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量,采用蛋白染色考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白含量。

### 1.4 数据分析

采用Excel 2022对数据进行整理和绘图,采用DPS 9.01进行差异显著性分析,用IBM SPSS Statistics 26进行相关性分析。采用模糊隶属函数法对肉质根各指标进行综合评价,模糊隶属函数值参考武新娟等<sup>[16]</sup>、李雪等<sup>[17]</sup>的计算方法。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度复配剂对萝卜抽薹的影响

不同浓度复配剂对春茬水果萝卜抽薹抑制效果不同。由图1可知,萝卜生长50 d时,CK抽薹显著,而不同浓度褪黑素复配剂处理对水果萝卜未熟抽薹抑制作用明显。由图2可知,不同浓度烯效唑处理均降低了萝卜抽薹率,烯效唑浓度越高,抑制抽薹效果越显著。萝卜生长至50 d时,T2抽薹率为13.95%,较CK的抽薹率降低了35.05%,较T1降低了6.05%。在褪黑素复配剂中,随着褪黑素浓度升高,抑制萝卜先期抽薹效果越显著。萝卜生长至50 d时,T2+1000处理的抽薹率最低,较CK的抽薹率降低了37.06%,较T1处理降低了8.06%,较T2处理降低了2.01%。综上所述,不同浓度烯效唑与不同浓度褪黑素复配剂均能抑制萝卜先期抽薹,复配剂中T2+1000处理的抑制抽薹效果最佳。

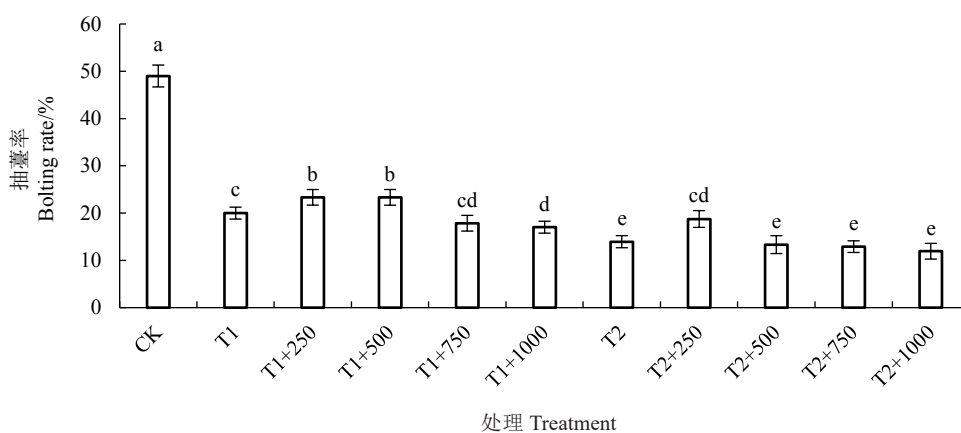
### 2.2 不同浓度复配剂对肉质根性状的影响

由表1可知,T2的单株质量较CK降低了24.62%,较T1降低了14.04%。T2的单根质量较CK降低了13.64%,较T1降低了7.32%。在褪黑素复配剂中,随着褪黑素浓度的升高,萝卜单株质



图1 不同浓度褪黑素复配剂处理水果萝卜 50 d 的长势情况

Fig. 1 Growth of fruit radish grown for 50 d in different concentrations of melatonin compound treatments



注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

图2 不同浓度复配剂处理水果萝卜生长 50 d 的抽薹率

Fig. 2 50 d bolting rate of fruit radish treated with different concentration compound

表1 不同浓度复配剂对性状指标的影响

Table 1 Effects of different concentrations of compound on character indexes

处理 Treatment	单株质量 Plant mass/g	单根质量 Root mass/g	肉质根长 Root length/cm	肉质根粗 Root thickness/cm
CK	650.00±30.00 a	440.00±40.00 abcd	20.20±1.20 bc	5.60±0.30 abc
T1	570.00±70.00 abcd	410.00±50.00 bcd	17.00±1.50 d	5.65±0.15 abc
T1+250	560.00±60.00 bcd	420.00±40.00 bcd	21.00±2.00 abc	5.45±0.05 bcd
T1+500	510.00±30.00 cd	380.00±40.00 cd	19.30±1.70 cd	5.45±0.15 bcd
T1+750	590.00±30.00 abc	450.00±30.00 abc	21.90±0.90 ab	5.65±0.15 abc
T1+1000	620.00±20.00 ab	470.00±10.00 ab	21.50±1.50 abc	5.85±0.15 a
T2	490.00±110.00 d	380.00±80.00 cd	21.15±1.85 abc	5.35±0.05 cd
T2+250	500.00±20.00 d	370.00±10.00 d	21.50±0.50 abc	5.15±0.15 d
T2+500	650.00±30.00 a	430.00±30.00 abcd	22.65±0.65 a	5.75±0.25 ab
T2+750	610.00±30.00 ab	450.00±30.00 abc	20.00±1.50 bc	5.80±0.30 a
T2+1000	630.00±70.00 ab	500.00±60.00 a	22.00±1.00 ab	5.65±0.15 abc

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences at the 0.05 level.

量和单根质量也随之升高,肉质根长和肉质根粗呈上升趋势。其中,CK的单株质量最大。T2+1000处理的单根质量最大,较CK提高了13.64%,较T1提高了14.63%,较T2提高了32.43%。T2+500的肉质根最长,较CK提高了12.13%,较T1提高了33.24%,较T2提高了7.09%。T1+1000处理的肉质根最粗,较CK提高了4.46%,较T1提高了3.54%,较T2提高了9.35%。综上所述,烯效唑浓度越高,对肉质根性状的抑制作用越大,随着褪黑素浓度升高,单株质量、单根质量、肉质根长和肉质根粗也随之提高,有效缓解了烯效唑对肉质根的抑制作用。

对肉质根性状指标与萝卜生长50d的抽薹率进行相关性分析,以探究抽薹对肉质根性状的影响。由表2可知,单根质量、肉质根长、肉质根粗与抽薹率均呈负相关,即抽薹率越高,萝卜抽薹越早,萝卜的单根质量、肉质根长和肉质根粗越小。

### 2.3 不同浓度复配剂对水果萝卜营养品质的影响

由图3可知,不同浓度烯效唑对萝卜维生素C含量的影响各不相同,T1处理较CK降低了28.37%,T2处理与CK无显著差异。不同浓度褪

表2 肉质根性状指标的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of fleshy root traits

指数 Index	单株质量 Plant mass	单根质量 Root mass	肉质根长 Root length	肉质根粗 Root thickness	抽薹率 Bolting rate
单株质量 Plant mass	1				
单根质量 Root mass	0.828**	1			
肉质根长 Root length	0.230	0.313	1		
肉质根粗 Root thickness	0.819**	0.771**	-0.001	1	
抽薹率 Bolting rate	0.188	-0.094	-0.278	-0.119	1

注:\*\*表示相关性在0.01水平差异极显著。

Note: \*\* indicates that the correlation is extremely significant difference at the 0.01 level.

黑素复配剂对萝卜维生素C含量的影响各不相同。在褪黑素复配剂处理中,T2+250处理的萝卜维生素C含量最高,较CK提高了5.99%,较T1处理提高了47.96%,较T2处理的维生素C含量提高了5.99%。T1处理的萝卜维生素C含量最低。

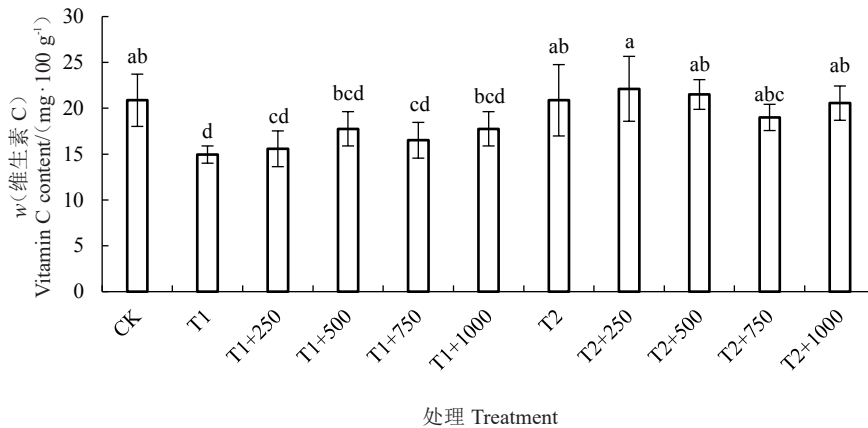


图3 不同浓度复配剂对维生素C含量的影响

Fig. 3 Effects of different concentrations of compound on vitamin C content

由图4可知,不同浓度烯效唑对水果萝卜可溶性蛋白含量的影响各不相同,T1处理较CK可溶性蛋白含量显著提高了60.47%,T2处理较CK降低了0.85%。不同浓度褪黑素复配剂对水果萝卜可溶性蛋白含量的影响各不相同。其中,T1处理的萝卜可溶性蛋白含量最高,较T2显著提高了61.9%。T2+1000处理的萝卜可溶性蛋白含量最低,较CK降低了2.95%。研究发现,当烯效唑浓度为600 mg·L<sup>-1</sup>时,随着褪黑素复配剂浓度的上升,水

果萝卜可溶性蛋白含量呈先升高后降低的趋势。所有处理中,T1处理的萝卜可溶性蛋白含量最高。

由图5可知,不同浓度烯效唑均提高了水果萝卜可溶性糖含量,T1处理与T2处理较CK均提高了0.12%。但不同浓度褪黑素复配剂对萝卜可溶性糖含量的影响各不相同。在褪黑素复配剂中,T2+750的萝卜可溶性糖含量最高,较CK的可溶性糖含量提高了0.48%,较T1显著处理提高了0.36%,较T2处理显著提高了0.36%。T1+500的可溶性

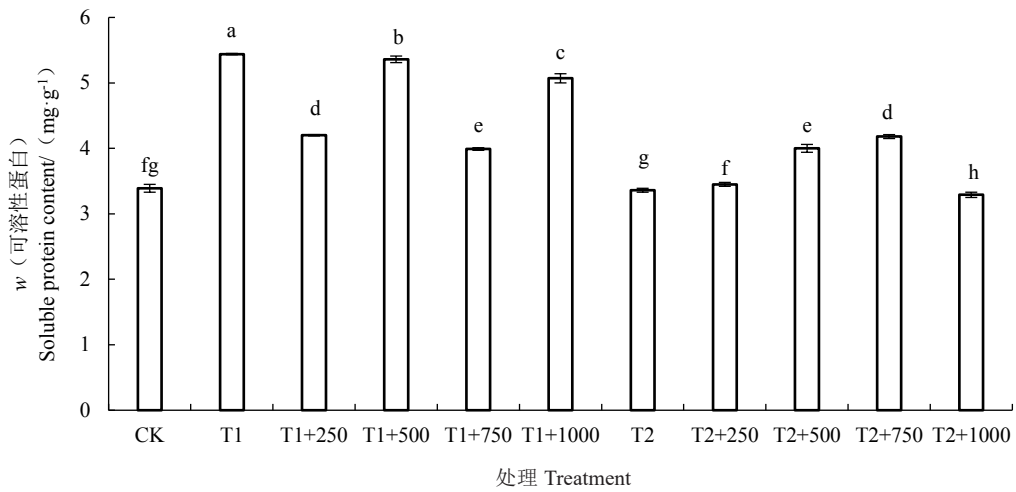


图4 不同浓度复配剂对可溶性蛋白含量的影响

Fig. 4 Effects of different concentrations of compound on soluble protein content

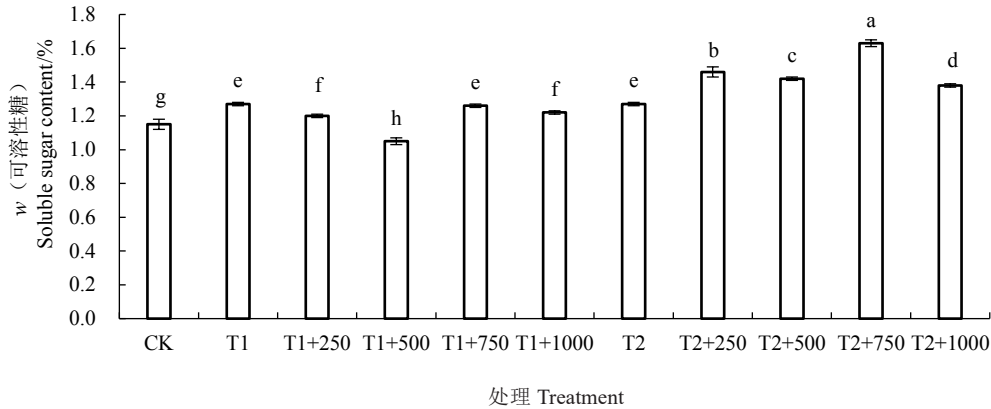


图5 不同浓度复配剂对可溶性糖含量的影响

Fig. 5 Effect of different concentration of compound on soluble sugar content

糖含量最低。在褪黑素复配剂中,750 μmol·L<sup>-1</sup>褪黑素处理效果最好,其中 T2+750 的可溶性糖含量最高。

由图6可知,不同浓度烯效唑均提高了可溶

性固形物含量,T1 处理与 T2 处理较 CK 均提高了 1.02 个百分点。但不同浓度褪黑素复配剂对萝卜可溶性固形物含量的影响各不相同。在褪黑素复配剂中,T2+750 的可溶性固形物含量

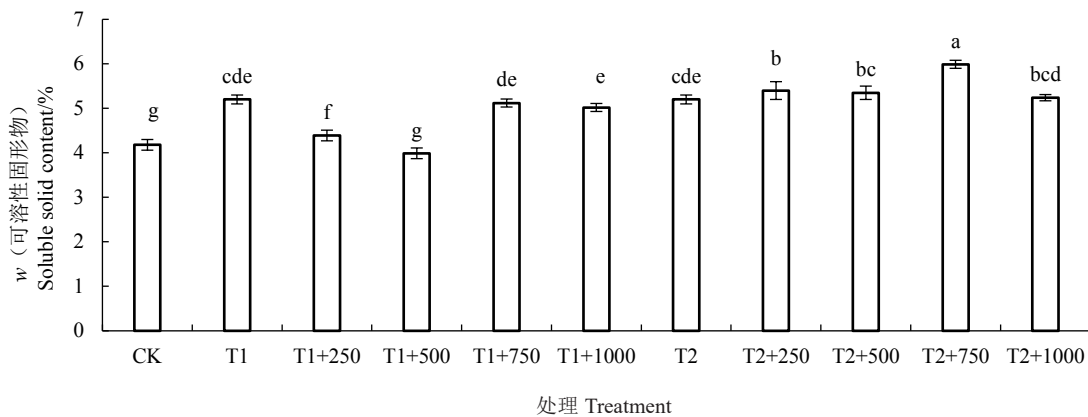


图6 不同浓度复配剂对可溶性固形物含量的影响

Fig. 6 Effect of different concentration of compound on soluble solid content

最高,较 CK 的可溶性固形物含量显著提高了 1.81 个百分点,较 T1 的可溶性固形物含量显著提高了 0.79 个百分点,较 T2 的可溶性固形物含量显著提高了 0.79 个百分点。T1+500 的可

溶性固形物含量最低。在褪黑素复配剂中,当烯效唑浓度为  $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,T2+750 处理的可溶性固形物含量最高。

由表 3 可知,可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、

表 3 营养品质相关性分析  
Table 3 Correlation analysis of nutritional quality

指数 Index	维生素 C 含量 Vitamin C content	可溶性蛋白含量 Soluble protein content	可溶性糖含量 Soluble sugar content	可溶性固形物含量 Soluble solid content	抽蔓率 Bolting rate
维生素 C 含量 Vitamin C content	1				
可溶性蛋白含量 Soluble protein content	-0.617*	1			
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.387	-0.325	1		
可溶性固形物含量 Soluble solid content	0.241	-0.225	0.915**	1	
抽蔓率 Bolting rate	0.013	-0.063	-0.538	-0.695*	1

注:\*\*表示相关性在 0.01 水平差异极显著,\*表示相关性在 0.05 水平差异显著。

Note: \*\* indicates that the correlation is extremely significant difference at the 0.01 level, and \* indicates that the correlation is significant difference at the 0.05 level.

可溶性固形物含量与抽蔓率均呈负相关,即抽蔓率越高,萝卜抽蔓越早,可溶性蛋白含量、可溶性糖含量和可溶性固形物含量越低。

### 2.4 综合评价

以单根质量、维生素 C 含量、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、可溶性固形物含量和抽蔓率等 6 项

指标为依据,采用模糊隶属函数法对不同浓度褪黑素处理的水果萝卜各指标进行分析并进行综合评价。由表 4 可知,T2+750 处理的水果萝卜各指标隶属函数值排名第一,因此 T2+750 处理抑制水果萝卜先期抽蔓综合效果最明显,既降低了抽蔓率,又提高了产量和品质。

表 4 不同浓度褪黑素复配剂处理下水果萝卜各指标隶属函数值及综合评价

Table 4 Membership function values and comprehensive evaluation of various indexes of fruit radish treated with different concentrations of melatonin compound

编号 Number	处理 Treatments	单根质量 Plant mass	维生素 C 含量 Vitamin C content	可溶性蛋白含量 Soluble protein content	可溶性糖含量 Soluble sugar content	可溶性固形物含量 Soluble solid content	抽蔓率 Bolting rate	平均值 Average value	排名 Rank
1	CK	0.538	0.826	0.047	0.172	0.095	0.000	0.280	11
2	T1	0.308	0.000	1.000	0.379	0.605	0.783	0.513	6
3	T1+250	0.385	0.088	0.423	0.259	0.200	0.692	0.341	10
4	T1+500	0.078	0.392	0.963	0.000	0.000	0.693	0.354	9
5	T1+750	0.615	0.218	0.033	0.362	0.565	0.840	0.439	8
6	T1+1000	0.769	0.392	0.828	0.293	0.515	0.863	0.610	4
7	T2	0.077	0.826	0.033	0.379	0.605	0.946	0.478	7
8	T2+250	0.000	1.000	0.074	0.707	0.705	0.816	0.550	5
9	T2+500	0.462	0.914	0.330	0.638	0.680	0.962	0.664	2
10	T2+750	0.615	0.565	0.414	1.000	1.000	0.974	0.761	1
11	T2+1000	1.000	0.782	0.000	0.569	0.625	1.000	0.663	3

## 3 讨论与结论

### 3.1 外源物对萝卜先期抽蔓的影响

植物生长调节剂已广泛应用在蔬菜生产上,研究上常使用植物生长抑制剂和植物生长延缓剂抑制植物先期抽蔓,市面上常见的植物生长抑制剂有

马来酰肼、三碘苯甲酸、脱落酸等,常见的生长延缓剂有多效唑、烯效唑、比久、矮壮素等。

近年来,复配剂的使用越来越广泛,李汉忠等<sup>[18]</sup>使用乙烯利和矮壮素的复配剂对夏玉米的抗倒伏丰产性进行研究,发现复配剂处理不仅能显著降低玉米的株高和穗高,提高抗倒伏能力,还能提高玉

米产量。杨继芝等<sup>[19]</sup>使用烯效唑与稀土的复配剂对黄瓜生长发育及产量进行研究,发现复配剂处理能降低黄瓜株高,延缓衰老,还能提高光合速率,对黄瓜有明显增产作用。路茜等<sup>[20]</sup>使用不同浓度的乙烯利与烯效唑复配剂对棉花化学打顶技术进行研究,发现复配剂处理不仅提高了棉花叶片中的叶绿素含量,提高光合参数,还能提高产量。丁久玲<sup>[21]</sup>使用不同浓度乙烯利与外源硒的复配剂对铁皮石斛的抗寒性进行研究,发现喷施复配剂不仅可以使低温胁迫下铁皮石斛的抗氧化酶活性升高,缓解低温胁迫的伤害,还能显著提高低温胁迫下铁皮石斛的叶绿素含量,促进植物生长。综上所述,复配剂多应用在植物抗性的研究上,喷施复配剂与喷施单一外源物相比,不仅能提高植物抗性,还能提高产量。

在喷施外源物抑制抽薹的研究进展中,郭芳等<sup>[22]</sup>使用青鲜素抑制羽衣甘蓝抽薹,但喷施青鲜素后导致叶片褪色,影响了观赏性。刘雪莹等<sup>[23]</sup>使用三碘苯甲酸抑制叶用莴苣抽薹,导致植株叶片小,茎细弱。胡瑶<sup>[24]</sup>通过不同浓度的脱落酸和赤霉素复配剂处理,从中筛选出抑制紫丰一号先期抽薹效果最显著的复配剂浓度为  $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  ABA+ $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  GA<sub>3</sub>,成本低且不会严重抑制芥菜生长。康云艳等<sup>[25]</sup>通过对不同时期的菜薹喷施不同浓度的脱落酸和烯效唑复配剂,筛选出在 2~3 叶期脱落酸  $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ +烯效唑  $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  处理菜薹抽薹率低且产量最高。综上所述,单施外源物抑制抽薹效果显著,但对品质和产量有一定的抑制作用,喷施复配剂抑制抽薹效果显著,且对产量和品质起提升作用。

本研究表明,烯效唑浓度越高,抑制抽薹效果越显著,在萝卜生长 50 d 时,  $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  烯效唑处理的抽薹率较  $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  烯效唑处理降低了 6.05%,这与秦成萌等<sup>[10]</sup>的研究结果一致。但本研究中  $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  烯效唑严重抑制了萝卜肉质根的生长,这与秦成萌等<sup>[10]</sup>研究结果中  $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  烯效唑能够提高肉质根品质和北方春季萝卜产量的结果不一致,这可能是由于喷施时期、喷施频次、萝卜品种不同导致对植物生长调节功能和效果不同。在本研究中,随着褪黑素浓度上升,抑制抽薹的效果越来越显著。在萝卜生长 50 d 时,  $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  烯效唑+ $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  褪黑素的复配剂抑制抽薹效果最显著,较 CK 降低了 37.06%,这与何磊<sup>[11]</sup>的研究结果一致。不同浓度的复配剂处理能显著影响植物幼苗生长,适宜的复配比能降低植物早期抽薹的发生,这与吴萍等<sup>[26]</sup>和侯凯<sup>[27]</sup>

研究结果一致。

### 3.2 不同浓度复配剂对萝卜肉质根性状的影响

烯效唑通过阻碍内源赤霉素的合成来延缓细胞伸长,使植株矮化,但过高浓度会抑制植株的生长发育<sup>[28]</sup>,烯效唑在十字花科植物未抽薹前以适当浓度喷洒,可减弱植株对春化、抽薹的敏感性从而延缓生殖生长,对先期抽薹有一定的抑制作用。褪黑素通过提高内源褪黑素含量,降低赤霉素、生长素、脱落酸与细胞分裂素含量来减缓花芽分化和抽薹进程。还有研究发现,外源物降低植物株高和叶面积,还提高了植物总碳水化合物和叶绿素含量,增加了植物体内的细胞分裂素和脱落酸含量,但是降低了赤霉素和生长素含量,有效延缓了抽薹开花时间<sup>[29]</sup>。

喷施烯效唑会对萝卜肉质根发育产生抑制作用。 $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  烯效唑的单根质量显著低于 CK 和  $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  烯效唑处理的单根质量。烯效唑浓度越高,单根质量越小,这与许江鸿等<sup>[30]</sup>随着烯效唑浓度增大,水果萝卜减产幅度增大的研究结果一致,与何天祥等<sup>[31]</sup>的低浓度烯效唑对大麦有增产效果,高浓度烯效唑有减产效果的结果一致。喷施褪黑素能够缓解烯效唑对肉质根发育的抑制作用,不同浓度褪黑素复配剂处理中,单根质量均随着褪黑素浓度增大而增大,这与何磊<sup>[11]</sup>的研究结果一致;也与陈忠诚<sup>[32]</sup>的研究结果一致,褪黑素浓度越大,红小豆产量越高。

### 3.3 不同浓度复配剂对萝卜肉质根营养品质的影响

喷施不同浓度的褪黑素复配剂对萝卜肉质根营养品质产生的作用各不相同。在本试验中,不同浓度烯效唑对水果萝卜维生素 C 含量和可溶性蛋白含量影响效果各不相同,但均提高了可溶性糖和可溶性固形物含量。在不同浓度褪黑素复配剂中,随着褪黑素浓度的提高,水果萝卜的维生素 C、可溶性蛋白、可溶性糖和可溶性固形物含量均呈先升高后降低的趋势。这与黄佳璟等<sup>[33]</sup>和许艳婷等<sup>[34]</sup>研究结果一致。由此可知,喷施不同浓度的褪黑素复配剂对萝卜肉质根营养品质产生的作用各不相同,但随着褪黑素浓度的增加,肉质根的营养品质也随之提高。

喷施  $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  烯效唑+ $750 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  褪黑素抑制春茬萝卜先期抽薹综合效果最佳,较 CK 抽薹率降低了 36.1%,单根质量提高了 2.28%,可溶性蛋白含量提高了 23.3%,可溶性糖含量提高了 41.74%,可溶性固形物含量提高了 43.3%。

## 参考文献

- [1] 田山君,严希,孟繁博.萝卜抽薹特性的鉴定及抽薹前后生理生化特性的变化[J].北方园艺,2017(12):1-5.
- [2] 张美霞,杨延杰,林多.抽薹进程中萝卜肉质根主要质地指标变化的研究[J].北方园艺,2013(24):6-10.
- [3] 孙金利,曹仁香.植物生长调节剂在蔬菜生产上的应用[J].上海蔬菜,2009(1):74.
- [4] 贺茵莹,孙振元,葛红,等.植物生长延缓剂在观赏植物上的应用研究[J].农学学报,2018,8(6):53-57.
- [5] 徐立民,郁昭,黄建华,等.反季节栽培萝卜先期抽薹研究[J].北方园艺,2001(3):17-19.
- [6] 饶立兵,陈先知,朱剑桥,等.利用植物生长调节剂防止甘蓝未熟抽薹的研究[J].长江蔬菜,2009(20):37-38.
- [7] 吴俊英,张晓明.多效唑对大白菜抽薹特性和产量的影响[J].北方园艺,2010(6):37-40.
- [8] 张玉锦,刘晔,解紫薇,等.生长调节剂对根用菊苣先期抽薹的影响[J].黑龙江农业科学,2021(3):50-52.
- [9] 武峻新.蔬菜耐未熟抽薹性的研究及利用[J].北方园艺,2005(6):4-6.
- [10] 秦成萌,杨延杰,林多.植物生长调节剂对不同萝卜品种抽薹效应的影响[J].吉林农业科学,2013,38(5):77-78.
- [11] 何磊.外源褪黑素对萝卜花芽分化和抽薹的影响[D].贵阳:贵州大学,2020.
- [12] 王博美.外施褪黑素对低氮下小麦生长的调控效应及其机理[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2018.
- [13] 李金珠.褪黑素和细胞分裂素互作调控拟南芥主根生长的机理研究[D].北京:中国科学院大学,2017.
- [14] 李锡香,沈镛,王海平,等.萝卜种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2008.
- [15] 刘永军,郭守华,杨晓玲.植物生理生化实验[M].北京:中国农业科技出版社,2002.
- [16] 武新娟,唐贵,隋冬华,等.20个马铃薯品种抗旱性鉴定及评价指标筛选[J].中国瓜菜,2021,34(3):47-51.
- [17] 李雪,赵泰然,郑毅,等.利用隶属函数法对不同基因型秋葵耐盐碱性的分析与评价[J].分子植物育种,2023,21(20):6860-6865.
- [18] 李汉忠,张国英.乙烯利、矮壮素复配剂在夏玉米不同生育时期的试验效果分析[J].种业导刊,2010(1):28-29.
- [19] 杨继芝,杨文钰,文涛,等.烯效唑与稀土复配剂对黄瓜生长发育和产量的影响[J].中国农学通报,2006,22(1):208-211.
- [20] 路茜,李鹏兵,李明华,等.不同浓度乙烯利复配剂对棉花的打顶效应[J].新疆农业科学,2023,60(2):272-278.
- [21] 丁久玲,郑凯,史俊,等.乙烯利和硼复配剂对铁皮石斛抗寒性的影响[J].江苏农业科学,2020,48(20):164-169.
- [22] 郭芳,侯爽,王帅,等.生长调节剂对观赏羽衣甘蓝抽薹开花情况的影响[J].蔬菜,2021(1):13-19.
- [23] 刘雪莹,隋宪苏,王志珑,等.外源激素处理对叶用莴苣内源激素含量及抽薹特性影响[J].北京农学院学报,2017,32(3):57-61.
- [24] 胡瑶.植物生长调节剂对芥菜的抽薹效应研究[D].重庆:西南大学,2008.
- [25] 康云艳,黄爱政,杨暹,等.脱落酸和烯效唑对菜心抽薹特性和生长的影响[J].广东农业科学,2010(12):49-51.
- [26] 吴萍,郭俊霞,王晓宇,等.植物生长调节剂复配对白苜蓿幼苗生长及早期抽薹构成的影响[J].北方园艺,2023(2):88-95.
- [27] 侯凯.川白苜蓿资源评价与植物激素对其生长发育和产量品质的影响[D].四川雅安:四川农业大学,2013.
- [28] 卢环,王成,曾玲玲,等.不同浓度烯效唑浸种对绿豆生理及生长的影响[J].黑龙江农业科学,2023(8):50-57.
- [29] YOUSSEF A S M, ABD EI-AAL M M M. Effect of paclobutrazol and cycocel on growth, flowering, chemical composition and histological features of potted *Tabernaemontana coronaria* stapf plant[J]. Journal of Applied Sciences Research, 2013, 9(11):5953-5963.
- [30] 许江鸿,裴红宾,张永清,等.不同氮肥水平下烯效唑对水萝卜产量和品质的影响[J].北方园艺,2011(12):27-29.
- [31] 何天祥,蔡光泽,李大忠.施用烯效唑对大麦产量的影响[J].耕作与栽培,2009(1):38-39.
- [32] 陈忠诚.外源褪黑素对红小豆生长发育及产量品质的影响[D].黑龙江大庆:黑龙江八一农垦大学,2021.
- [33] 黄佳璟,林立金,陈发波,等.喷施褪黑素对萝卜生长及镉积累的影响[J].四川农业大学学报,2017,35(3):375-380.
- [34] 许艳婷,邹乾相,黄紫琚,等.褪黑素对NaOH胁迫下伞房决明生理特性的影响[J].湖南生态科学学报,2023,10(2):1-10.