

刘红芳, 陈发波, 李文博, 等. 胭脂萝卜肉质根生长动态分析[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(9): 131–136.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.09.026

# 胭脂萝卜肉质根生长动态分析

刘红芳<sup>1,2</sup>, 陈发波<sup>1,2</sup>, 李文博<sup>1</sup>, 向明芳<sup>3</sup>

(1. 长江师范学院现代农业与生物工程学院, 重庆 408100; 2. 长江师范学院绿色智慧环境学院, 重庆 408100;

3. 重庆市涪陵区江北街道农业服务中心/重庆市涪陵区江北街道办事处, 重庆 408000)

**摘要:** 为了解胭脂萝卜不同生长时期主要形态性状的动态变化过程, 测定不同生长时期的肉质根根长、肉质根根粗、肉质根鲜质量、肉质根干质量、肉质根含水量、叶鲜质量、色素含量及色素总量等性状。结果表明, 8 个性状在不同生长时期均差异极显著, 除肉质根含水量外, 其余性状生长均呈上升趋势。多数性状在膨大初期至膨大后期增长较快。膨大初期肉质根含水量最高, 为 93.28%; 抽薹期肉质根鲜质量、肉质根干质量、肉质根根粗、肉质根色素总量均达到最大值, 分别为 321.166 g、23.616 g、17.567 cm、4.051 g/株; 开花期肉质根根长和叶鲜质量达到最大值, 分别为 26.051 cm、252.452 g。因此, 在膨大初期至膨大后期可以适当施用肥料, 以促进胭脂萝卜的生长。抽薹前期多数性状测定值较高, 为最适宜的采收期。

**关键词:** 胭脂萝卜; 形态性状; 生长动态; 肉质根; 色素含量

**中图分类号:** S631.101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)09-0131-06

胭脂萝卜 (*Raphanus* L.), 别称红心萝卜, 属于十字花科 (Cruciferae) 一年生或二年生根菜类蔬菜, 是重庆市涪陵区三大特产之一<sup>[1]</sup>。胭脂萝卜质地脆嫩, 心皮全红, 花青素含量高、易溶于水, 适合提

取色素。胭脂萝卜对种植环境条件要求较高, 仅分布于涪陵区及邻近县 (市)<sup>[2]</sup>, 具有良好的发展前景<sup>[3-4]</sup>。近年来, 我国学者相继对胭脂萝卜开展研究。在提取萝卜红色素工艺方面, 刘海军等研究表明, 萝卜红色素提取的最佳条件: 料液比为 1 g : 1 mL, 乙酸浓度为 30%, 温度为 40 ℃, 浸提时间为 20 min, 需超声波辅助提取<sup>[5]</sup>。在遗传育种方面, 吕发生等对胭脂萝卜高产制种和亲本繁育进行了研究<sup>[6-8]</sup>; 吴照云等研究了四倍体胭脂萝卜的诱导<sup>[2]</sup>; 陈发波等分析了不同施肥处理对胭脂萝卜主要性状的影响<sup>[1]</sup>。在核型方面, 沙玉辉等对胭脂萝卜的染色体数目和核型进行了系统的研究分析<sup>[9]</sup>。许江等分析了绿皮红心、红皮白心、红皮红心和白

收稿日期: 2019-04-22

基金项目: 重庆市科委基础与前沿研究项目 (编号: cstc2016jcyjA0136); 重庆市教委科学技术研究项目 (编号: KJ1712302); 重庆市科委社会民生项目 (编号: cstc2017shms-xdny80074)。

作者简介: 刘红芳 (1978—), 女, 甘肃武威人, 硕士, 讲师, 主要从事萝卜遗传育种研究。E-mail: lhongfang@163.com。

通信作者: 陈发波, 博士, 教授, 主要从事萝卜遗传育种研究。E-mail: chenfabo963@126.com。

## 参考文献:

- [1] 苏维词, 张中可, 滕建珍, 等. 发展生态农业是贵州喀斯特 (石漠化) 山区退耕还林的基本途径 [J]. 贵州科学, 2003, 21 (1): 123–127.
- [2] 邸欣月, 安显金, 董慧, 等. 贵州喀斯特区域土壤有机质的分布与演化特征 [J]. 地球与环境, 2015, 43 (6): 697–708.
- [3] 秦松, 范成五, 孙锐锋. 贵州土壤资源的特点、问题及利用对策 [J]. 贵州农业科学, 2009, 37 (5): 94–98.
- [4] 王艳丽. 环刀法测定土壤田间持水量实验结果分析 [J]. 地下水, 2016, 38 (2): 55–57.
- [5] 李海玲. 土壤 pH 值的测定——电位法 [J]. 农业科技与信息, 2011 (13): 47–48.

- [6] 马熠翌, 任收讲, 高翔宇, 等. 快速加热容量法测定土壤有机质含量 [J]. 化学分析计量, 2018, 27 (6): 110–112.
- [7] 许超. 杜马斯燃烧定氮法快速测定土壤中全氮的方法研究 [J]. 现代农业科技, 2018 (1): 187, 190.
- [8] 张飞龙. Olsen 法测定土壤中有效磷的方法优化及检测研究 [J]. 西藏农业科技, 2016, 38 (4): 33–37.
- [9] 孙兰香. 乙酸铵浸提——火焰光度计法测定土壤速效钾 [J]. 现代农业科技, 2008 (17): 199–199.
- [10] 孟自力, 贾斌, 尹海燕, 等. 镉胁迫对小麦生长发育的影响 [J]. 中国农学通报, 2018, 34 (23): 26–32.
- [11] 郭世荣. 无土栽培学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [12] 郭世荣. 固体栽培基质研究、开发现状与发展趋势 [J]. 农业工程学报, 2005, 21 (增刊 2): 1–4.

皮白心等 4 种肉质颜色萝卜品种的核型<sup>[10]</sup>。在分子标记方面,方平等利用微卫星标记技术分析不同肉质颜色萝卜的遗传关系<sup>[11]</sup>。陈发波等利用 *Chs* 基因测序研究了不同肉质颜色萝卜之间的系统发育关系<sup>[12]</sup>,分析了胭脂萝卜肉质根中 *Chs* 基因的表达量与色素含量的关系<sup>[13]</sup>。但对胭脂萝卜相关性状生长发育的研究鲜有报道。为此,本研究分析胭脂萝卜生长过程中主要形态性状的变化,以期对胭脂萝卜的合理施肥、适时采收及相关性状的深入研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

以沙罐萝卜、胭脂 2 号和红心 1 号为试验材料,其中胭脂 2 号和红心 1 号由重庆渝东南农业科学院提供,沙罐萝卜由长江师范学院现代农业与生物工程学院提供。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 于 2017 年 9 月 15 日将 3 个胭脂萝卜品种种植于长江师范学院试验田。采用随机区组设计,5 次重复,每个小区 25 行,每行 20 株,行距为 50 cm,窝距为 40 cm,每窝 2 株,种植密度为 444.45 株/hm<sup>2</sup>。分别于苗期 B1(2017 年 10 月 14 日)和肉质根膨大初期 B2(2017 年 10 月 23 日)、肉质根膨大期 B3(2017 年 10 月 29 日)、肉质根膨大

旺期 B4(2017 年 11 月 5 日)、肉质根膨大后期 B5(2017 年 11 月 11 日)、抽薹前期 B6(2017 年 11 月 21 日)、抽薹期 B7(2017 年 12 月 3 日)、开花期 B8(2017 年 12 月 15 日)在每个重复区各取样 30 株,测定相关性状。田间管理同大田生产。

1.2.2 性状测定 待胭脂萝卜的肉质根开始膨大后,测定其萝卜肉质根根长、肉质根根粗(肉质根中部粗度)、肉质根鲜质量、肉质根干质量、肉质根含水量、叶鲜质量、色素含量及色素总量性状,其中色素含量测定参照陶洪英等的方法<sup>[3]</sup>。

1.3 数据分析

用 Excel 软件整理试验数据,用 DPS 软件进行方差分析,并用 Duncan's 新复极差法进行多重比较,分析胭脂萝卜不同生长时期主要形态性状变化情况。

2 结果与分析

2.1 胭脂萝卜各形态性状方差分析结果

由表 1 可知,品种间根长、根粗、肉质根鲜质量和肉质根干质量等性状差异均不显著,肉质根含水量、叶鲜质量、色素含量和色素总量等性状差异极显著。不同生长时期肉质根根长、根粗、鲜质量、干质量、含水量、叶鲜质量、色素含量和色素总量等性状均存在极显著差异。品种与不同生长时期互作各性状均差异不显著。

表 1 胭脂萝卜各形态性状方差分析结果

项目	自由度	F 值							
		根长	根粗	肉质根鲜质量	肉质根干质量	肉质根含水量	叶鲜质量	色素含量	色素总量
区组间	4	18.29	5.64	13 773.18 *	31.91	0.003 2	2 549.83	0.004	0.046 4
A 因素	2	5.12	82.21	261.21	0.73	0.035 **	39 864.20 **	208.907 **	7.974 27 **
B 因素	7	97.71 **	153.29 **	168 278.72 **	907.93 **	0.030 **	48 315.71 **	9.052 7 **	17.072 7 **
A×B	14	40.53	26.94	6 738.63	24.08	0.004 6	2 213.83	26.162	2.094 7
误差	92	23.13	4.6	5 335.92	29.04	0.007	3 845.85	0.01	0.058

注:A 因素为品种;B 因素为不同生长时期。“\*”表示在 0.05 水平上差异显著,“\*\*”表示在 0.01 水平上差异显著。

2.2 胭脂萝卜不同生长时期肉质根根长变化情况

由图 1 可知,3 个胭脂萝卜品种肉质根根长生长均呈上升趋势,其中,红心 1 号和胭脂 2 号分别在抽薹前期和抽薹期的根长生长速度较快,分别较前一生长期增长 16.46%、25.23%,在开花期达到最大值,分别为 27.196、26.836 cm。沙罐萝卜肉质根根长在膨大期生长最快,较膨大初期(21.468 cm)增长 12.05%,在膨大后期达到最大值

(24.774 cm)。多重比较结果(图 2)表明,开花期肉质根根长最大,为 26.051 cm,开花期肉质根根长与抽薹期和膨大后期差异不显著,开花期和抽薹期肉质根根长显著高于除膨大后期外其他时期肉质根根长。

2.3 胭脂萝卜不同生长时期肉质根根粗变化情况

由图 3 可知,3 个胭脂萝卜品种的肉质根根粗呈上升趋势,沙罐萝卜的肉质根根粗在抽薹期增长

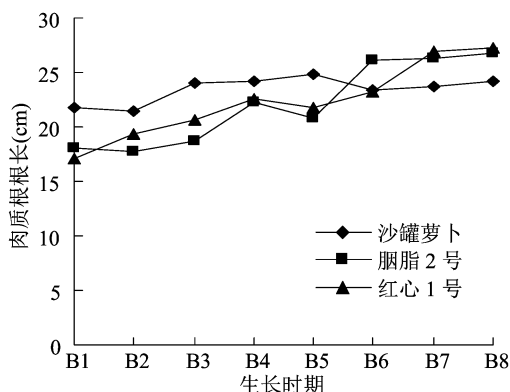
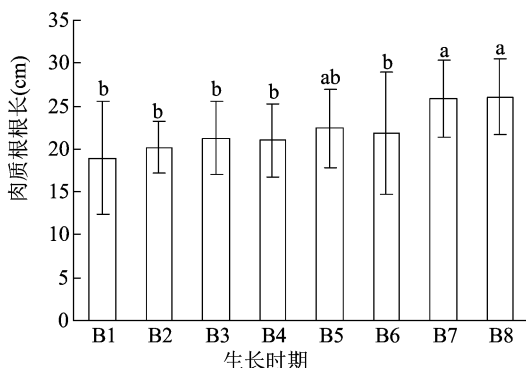


图1 胭脂萝卜在不同生长时期肉质根根长变化情况  
B1—苗期; B2—膨大初期; B3—肉质根膨大期;  
B4—膨大旺期; B5—膨大后期; B6—抽薹前期;  
B7—抽薹期; B8—开花期。下同



数据为3个品种的平均值; 误差线根据5次重复的标准差绘制; 柱上不同小写字母表示在0.05水平上差异显著。

图2 胭脂萝卜不同生长时期肉质根根长多重比较结果

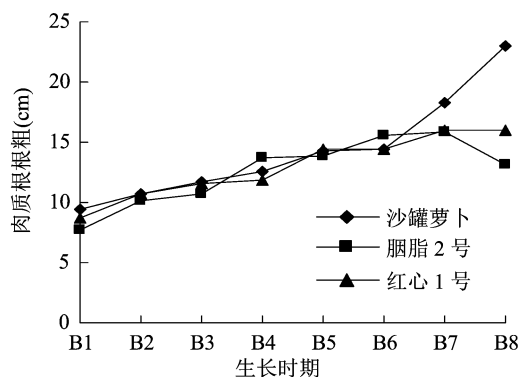


图3 胭脂萝卜8个不同生长时期肉质根根粗

最快,较抽薹前期增长27.31%,胭脂2号的肉质根根粗在膨大初期增长最快,较前一个生长时期增长29.99%,红心1号的肉质根根粗在膨大初期增长最快,较苗期增长23.97%。胭脂2号的根粗在抽薹期达到最大值,为15.850 cm,沙罐萝卜和红心1号在开花期达到最大值,分别为22.968、15.962 cm。多重比较结果(图4)表明,抽薹期肉质根根粗最大,

为17.567 cm,抽薹期和开花期根粗差异不显著,开花期肉质根根粗较抽薹期根粗有所降低,抽薹期和开花期的根粗与其他几个时期根粗差异显著。

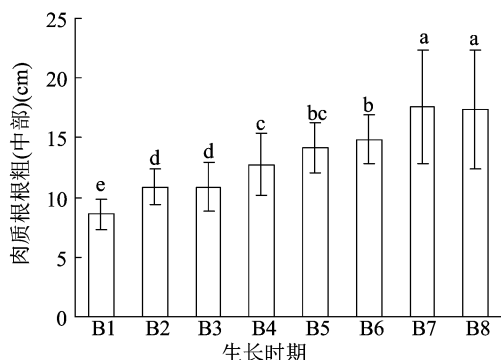


图4 胭脂萝卜8个不同生长时期肉质根根粗多重比较结果

## 2.4 胭脂萝卜不同生长时期肉质根鲜质量变化情况

由图5可知,3个胭脂萝卜品种的肉质根鲜质量都呈先增长后降低的趋势,沙罐萝卜和红心1号肉质根鲜重在膨大初期生长速度最快,分别较上一个生长时期增加121.15%和101.12%,胭脂2号在膨大后期生长速度最快,较前一时期增长100.96%。沙罐萝卜和红心1号在抽薹期肉质根鲜质量达到最大值,分别为363.450、317.572 g。胭脂2号在抽薹前期达到最大值,为311.650 g。多重比较结果(图6)表明,抽薹期肉质根鲜质量最大,为321.166 g,抽薹期和开花期肉质根鲜质量显著高于其他几个时期,开花期肉质根鲜质量下降,抽薹期和开花期肉质根鲜质量差异不显著。

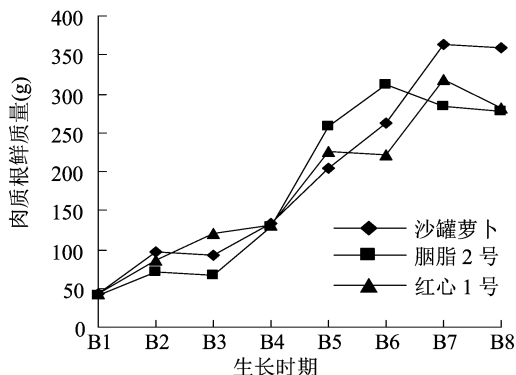


图5 胭脂萝卜8个不同生长时期肉质根鲜质量

## 2.5 胭脂萝卜不同生长时期肉质根干质量变化情况

由图7可知,3个胭脂萝卜品种的肉质根干质量都呈先增长后降低的趋势,沙罐萝卜肉质根干质量在抽薹期达到最大值,为24.798 g。胭脂2号肉

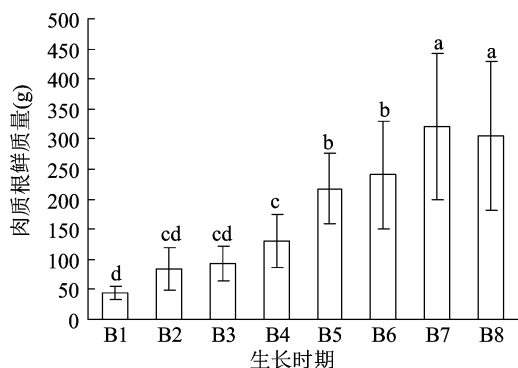


图6 胭脂萝卜 8 个不同生长时期肉质根鲜质量多重比较结果

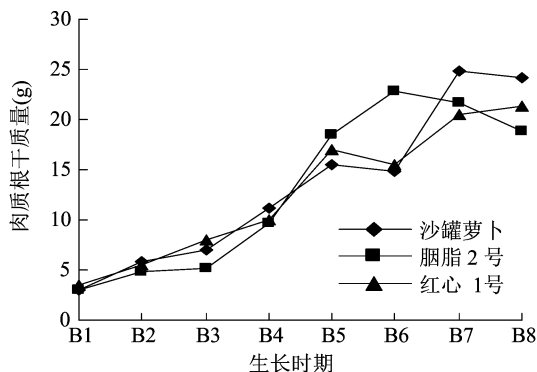


图7 胭脂萝卜 8 个不同生长时期肉质根干质量

质根干质量在抽薹前期达到最大,为 23.000 g。胭脂 2 号和红心 1 号肉质根干质量在膨大后期增长速度最快,分别较膨大期增长 92.16% 和 69.35%,沙罐萝卜肉质根干质量在膨大初期增长最快,较上一个生长期增长了 93.58%。多重比较结果(图 8)表明,抽薹期肉质根干质量最大,为 23.619 g,抽薹期肉质根干质量显著大于膨大初期、膨大旺期、膨大后期和抽薹前期肉质根干质量,开花期肉质根干质量有所下降,但与抽薹期肉质根干质量差异不显著。

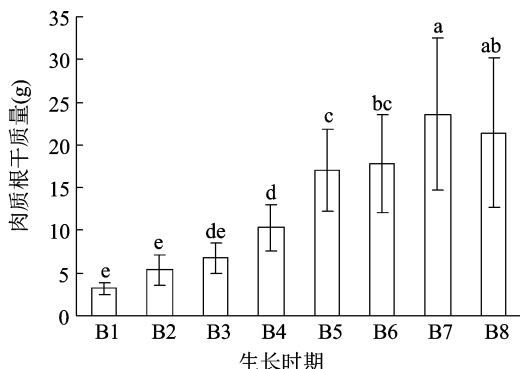


图8 胭脂萝卜 8 个不同生长时期肉质根干质量多重比较结果

## 2.6 胭脂萝卜不同生长时期肉质根含水量变化情况

由图 9 可知,3 个胭脂萝卜品种肉质根含水量呈“S”形变化,都在膨大初期含水量最高。多重比

较结果(图 10)表明,膨大初期肉质根含水量(93.28%)显著高于膨大期、膨大旺期、膨大后期、抽薹前期的肉质根含水量,与其他时期含水量差异不显著。

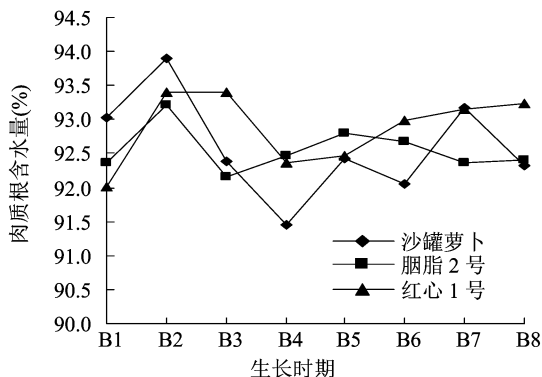


图9 胭脂萝卜 8 个不同生长时期肉质根含水量

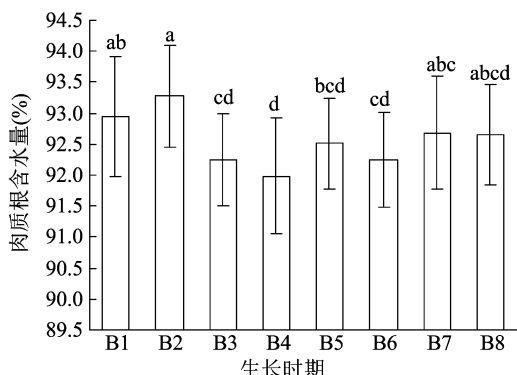


图10 胭脂萝卜 8 个不同生长时期肉质根含水量多重比较结果

## 2.7 胭脂萝卜不同生长时期叶鲜质量变化情况

由图 11 可知,3 个品种叶鲜质量均呈上升趋势,胭脂 2 号的叶鲜质量总体上高于沙罐萝卜和红心 1 号的,且在膨大旺期最高,为 278.479 g,较膨大期增长 60.57%,而红心 1 号在膨大后期增长最快,较膨大旺期增长 39.60%。多重比较结果(图 12)表明,开花期叶鲜质量最大,为 252.254 g,开花期叶鲜质量显著高于苗期、膨大初期和膨大旺期。

## 2.8 不同时期胭脂萝卜肉质根色素含量变化情况

由图 13 可知,肉质根色素含量呈上升趋势,胭脂 2 号在抽薹前期色素含量达到最大值,红心 1 号和罐罐萝卜在膨大期后达到最大值。从多重比较结果(图 14)看,抽薹前期肉质根色素含量最高,为 13.320‰,抽薹前期肉质根色素含量显著高于其他时期。

## 2.9 胭脂萝卜不同生长时期肉质根色素总量变化情况

由图 15 可知,在胭脂萝卜生长过程中胭脂萝卜

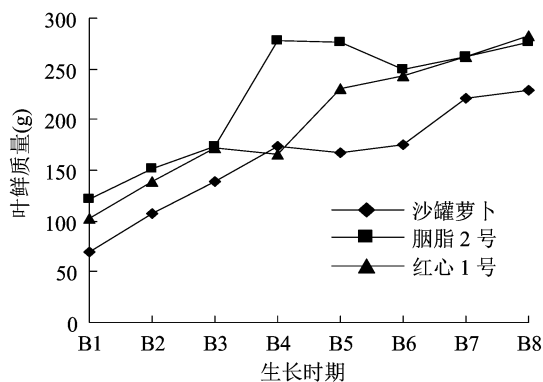


图11 胭脂萝卜 8 个不同生长时期叶鲜质量

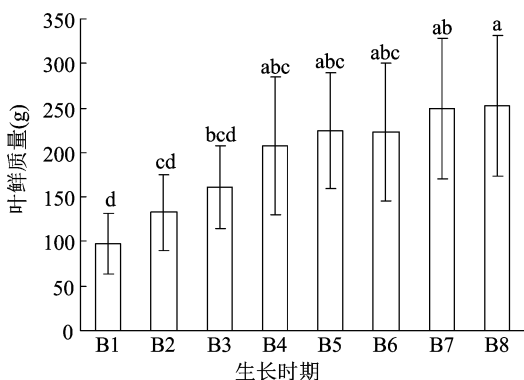


图12 胭脂萝卜 8 个不同生长时期叶鲜质量多重比较结果

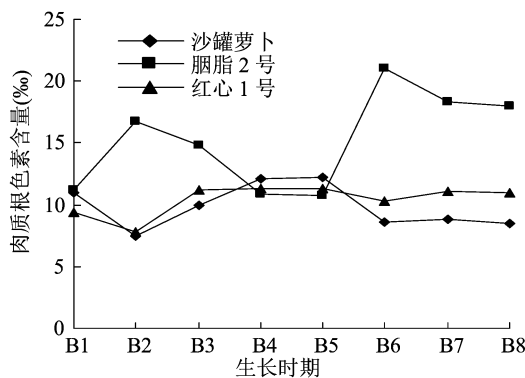


图13 胭脂萝卜肉质根色素含量

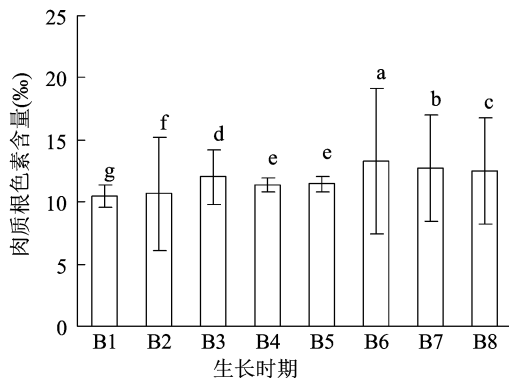


图14 不同时期肉质根色素含量多重比较结果

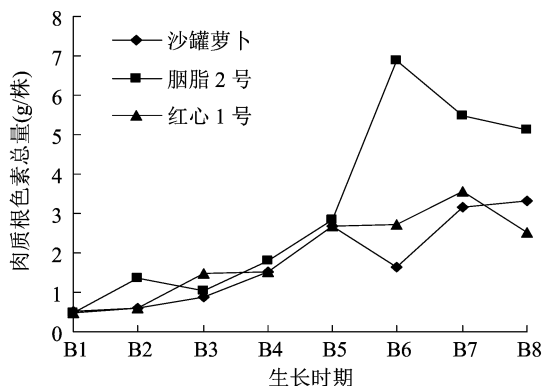


图15 胭脂萝卜肉质根色素总量

肉质根色素总量呈上升趋势,沙罐萝卜在开花期肉质根色素总量达到最高值,为 3.333 g/株,在抽薹期色素总量增加最快,较前一个生长时期增加 93.38%。胭脂 2 号在抽薹前期肉质根色素总量达到最高值,为 6.888 g/株,在膨大初期色素总量增加最快,较前一个生长时期增加 190.89%。红心 1 号在抽薹期肉质根色素总量达到最高值,为 3.542 g/株,在膨大期色素总量增加最快,较前一个生长时期增加 141.67%。从多重比较结果(图 16)来看,在抽薹期肉质根色素总量最大,为 4.051 g/株,抽薹期肉质根色素总量显著高于苗期、膨大初期、膨大期和膨大旺期的色素总量。

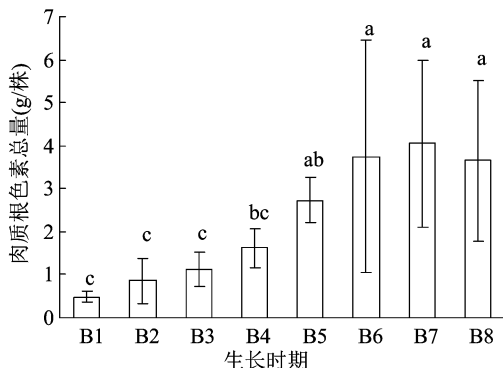


图16 胭脂萝卜不同时期肉质根色素总量多重比较结果

### 3 结论与讨论

#### 3.1 胭脂萝卜主要性状生长发育过程分析

本研究结果表明,8 个性状在不同生长时期均差异极显著,除含水量以外,其余性状生长均呈上升趋势。王煌平等研究表明,与不施肥处理相比,施肥显著增加了萝卜生物产量,对可食用部分(肉质根)的分析表明,施肥也显著增加了萝卜肉质根产量<sup>[14]</sup>。秦家顺等研究了胭脂萝卜的肉质根产量

与农艺性状的关系<sup>[15]</sup>,但对胭脂萝卜不同生长时期主要形态性状分析鲜有报道,研究胭脂萝卜不同生长时期主要形态性状变化,可为胭脂萝卜合理施肥与适时采收及相关性状深入研究奠定基础。

### 3.2 胭脂萝卜施肥时期的确定

本研究结果表明,多数性状在膨大初期至膨大后期增长较快。而肉质根含水量在膨大初期或膨大期达到最大,因此,肉质根开始膨大后,必须充分供应水分,保持土壤湿润,切勿忽干忽湿引起肉质根开裂<sup>[16]</sup>。多重比较结果表明,施肥的最佳时期分别为膨大初期至膨大后期。这与秦文斌等的结论<sup>[17-18]</sup>一致,他们认为膨大期萝卜肉质根的养分累积量与肉质根养分含量有着相似的变化规律,施用肥料能显著提高采收期萝卜肉质根产量。

### 3.3 胭脂萝卜适宜采收期的确定

对胭脂萝卜 8 个不同生长时期形态性状进行分析,可知,膨大初期肉质根含水量最高,为 93.28%;抽薹期肉质根鲜质量、肉质根干质量、肉质根根粗、肉质根色素总量均达到最大值,分别为 321.166 g、23.616 g、17.567 cm、4.051 g/株;开花期肉质根根长和叶鲜质量达到最大值,分别为 26.051 cm、252.452 g。可以看出,多数形态性状的值在抽薹期达到最大,但根据多重比较结果,多数形态性状在膨大后期、抽薹前期、抽薹期差异不显著。这与徐彦军等认为的肉质根根粗(横径)对肉质根产量的作用最大<sup>[19]</sup>,以及任喜波等研究认为的根长与肉质根质量关联度最大的结论<sup>[20]</sup>一致。也与武玲萱等在不受霜冻情况下应尽量晚收的结论<sup>[21]</sup>大致相符。从色素总量看,抽薹期肉质根的色素总量最高,与芮春梅对胭脂萝卜红色素形成的动态分析<sup>[22]</sup>结果一致,肉质根色素总量在抽薹期达到最高,为 4.051 g/株,在抽薹前期增幅最大,较前一个时期增长 37.40%。因此,适宜采收期为抽薹前期。

### 参考文献:

- [1] 陈发波,李春明,姚启伦,等. 不同施肥处理对胭脂萝卜主要性状的影响[J]. 安徽农业大学学报,2016,43(3):441-446.
- [2] 吴照云,陈发波,姚启伦,等. 涪陵胭脂萝卜多倍体诱导研究

- [J]. 种子,2017,36(3):38-41.
- [3] 陶洪英,吕发生. 红心萝卜肉质根性状间的关系[J]. 西南农业学报,2012,25(2):605-608.
- [4] 时建伟,滕晓旭,曹团武,等. 涪陵胭脂萝卜红色素的提取、分离及精制研究进展[J]. 广州化工,2016,44(2):30-32.
- [5] 刘海军,孙井坤. 萝卜红色素的提取工艺研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2014,26(1):5-58.
- [6] 吕发生,谭革新. 红心萝卜品种资源的现状与对策[J]. 中国种业,2002(11):43.
- [7] 吕发生,陶洪英,谭革新,等. 杂交红心萝卜胭脂红 1 号高产制种模式研究[J]. 种子,2015,34(1):110-113.
- [8] 吕发生,陶洪英,谭革新,等. 杂交红心萝卜胭脂红 1 号亲本繁育技术规程[J]. 陕西农业科学,2015,61(9):122-123.
- [9] 沙玉辉,刘莉,王康,等. 3 种不同皮色萝卜种质染色体核型分析[J]. 基因组学与应用生物学,2009,28(6):1141-1145.
- [10] 许江,许冬梅,姚启伦,等. 不同颜色肉质萝卜核型分析研究[J]. 河南农业科学,2011,40(12):120-125.
- [11] 方平,陈发波,姚启伦,等. 肉质色不同萝卜遗传多样性的 SSR 分子标记分析[J]. 植物遗传资源学报,2012,13(2):226-232.
- [12] 陈发波,方平,姚启伦,等. 涪陵红心萝卜起源进化的分子系统学[J]. 贵州农业科学,2014,42(11):7-11.
- [13] 陈发波,高健,姚启伦,等. 不同类型萝卜肉质根色素含量与 *Chs* 基因的相关性分析[J]. 分子植物育种,2018,16(1):175-183.
- [14] 王焯平,张青,翁伯琦,等. 不同肥源对萝卜硝酸盐累积分布和同化的影响[J]. 农业工程学报,2016,32(2):148-154.
- [15] 秦家顺,许明惠,李昌满. 胭脂萝卜主要农艺性状对肉质根产量的影响[J]. 河南农业科学,2014,43(1):107-109.
- [16] 刘贤娴,徐文玲,刘辰,等. 早春耐抽薹萝卜新品种“天正萝卜 14 号”的选育[J]. 山东农业科学,2016,48(8):23-25.
- [17] 秦文斌,戴忠良,张振超,等. 优质、高花青素萝卜胭脂 1 号的选育与高产栽培技术[J]. 江西农业学报,2012,24(4):75-76.
- [18] 王晴芳,袁伟玲,甘彩霞,等. 氮肥用量对萝卜肉质根产量及氮素吸收利用的影响[J]. 安徽农业科学,2013,41(20):8580-8582.
- [19] 徐彦军,邓代信,胡小京. 萝卜杂交组合产量与相关性状的灰色关联度分析[J]. 山地农业生物学报,2003,22(6):516-519.
- [20] 任喜波,魏毓棠. 萝卜主要性状与产量性状间的灰色关联度分析[J]. 沈阳农业大学学报,2007,38(4):598-601.
- [21] 武玲萱,刘钊. 萝卜简易冬贮技术[J]. 中国园艺文摘,2015,(2):167-168.
- [22] 芮春梅. 胭脂萝卜红色素形成的动态分析与提取方法及稳定性研究[D]. 重庆:西南大学,2007.