

# 干旱胁迫对苗期木薯内源激素含量的影响

周芳<sup>1,2</sup>, 刘恩世<sup>2</sup>, 赵平娟<sup>2</sup>, 王文泉<sup>2</sup>, 彭明<sup>2</sup>

(1. 海南大学, 海口 571101; 2. 中国热带农业科学院热带生物技术研究所, 海口 571101)

**摘要:** 以 SC124、KU50、C4 和 SC8 四个木薯品种为试验材料, 运用酶联免疫吸附测定法, 研究了盆栽条件下干旱胁迫对苗期木薯根系与叶片中内源激素脱落酸(ABA)、吲哚乙酸(IAA)、赤霉素(GA)和玉米素核苷(ZR)的含量以及四种激素间平衡关系的影响。结果表明: 随着干旱程度的加强, 四种激素的含量在不同木薯品种内呈现不同的变化趋势。干旱至第 10 天时, ABA 含量在苗期木薯叶片内增加, 在根系内含量也增加(KU50 除外); IAA 在叶片中含量下降, 根系内含量因品种不同, 变化趋势相差明显, 其中 SC124 和 KU50 中 IAA 含量显著下降, 而在 SC8 和 C4 中含量上升; GA 含量在四种品种的根系中均下降, 叶片 GA 含量在 C4 和 KU50 中略有下降而在 SC124 和 SC8 中上升; ZR 含量在四种品种的根系中均下降, 叶片中 ZR 含量在 C4 中上升, SC8 中下降, 而在 KU50 和 SC124 中无明显变化。IAA/ABA、ZR/ABA 在根系中比值下降, SC124 降幅最大, SC8 降幅最小, KU50、C4 降幅居中, 说明 IAA/ABA、ZR/ABA 与木薯的抗旱能力具有一定相关性。该研究结果解释了苗期木薯根系和叶片内源激素对于干旱胁迫的适应性反应, 为筛选不同木薯抗旱品种提供了理论依据。

**关键词:** 木薯; 苗期; 干旱胁迫; 植物内源激素; 含量变化

**中图分类号:** S59 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)05-0238-07

## Impacts of drought stress on content of endogenous phytohormones at seedling stage of cassava

ZHOU Fang<sup>1,2</sup>, LIU En-shi<sup>2</sup>, ZHAO Ping-juan<sup>2</sup>, WANG Wen-quan<sup>2</sup>, PENG Ming<sup>2</sup>

(1. Hainan University, Haikou, Hainan 571101, China; 2. The Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China)

**Abstract:** Using four kinds of cassava varieties (SC124, KU50, C4 and SC8) as test materials, the enzyme-linked immunosorbent assay was conducted to determine the content changes and the balance of endogenous phytohormones, including abscisic acid (ABA), indole-acetic acid (IAA), gibberellin (GA) and zeatin riboside (ZR), in roots and leaves of cassava at seedling stage under drought stress. The results showed that, with the strengthening of drought stress, the content of various hormones showed different trends in different cassava varieties. At the tenth day of drought stress, the content of ABA increased in leaves, so did in roots (except for KU50); the content of IAA decreased in leaves of all varieties, while significantly decreased in roots of SC124 and KU50 but increased in roots of SC8 and C4; the content of GA decreased in roots of all varieties, while increased in leaves of SC124 and SC8 but decreased slightly in leaves of C4 and KU50; the content of ZR decreased in roots of all varieties, while increased in leaves of C4, decreased in leaves of SC8, but no significant change in leaves of KU50 and SC124. The ratio of IAA/ABA and ZR/ABA decreased in roots, in which, the reduction rate of SC124 was the largest, that of SC8 was the smallest, and that of KU50 and C4 was in the middle. This indicated that the ratio of IAA/ABA and ZR/ABA has a certain relevance to drought resistance of cassava. The research explained the adaptive responses of endogenous hormones in roots and leaves of cassava at seedling stage to drought stress, and provided a theoretical basis for screening drought-resistant varieties of cassava.

**Keywords:** cassava; seedling stage; drought stress; endogenous phytohormone; content change

木薯 (*Manihot esculenta* Crantz), 大戟科木薯属, 是热带亚热带地区的重要农作物, 也是工业上生产

淀粉和燃料乙醇的重要原材料。发展生物质能源是我国“十一五”计划的战略任务, 木薯因其具有高淀

收稿日期: 2013-03-04

基金项目: 国家“973”计划项目“重要热带作物木薯品种改良的基础研究”(2010CB126600)

作者简介: 周芳 (1983—), 女, 山东省淄博市人, 博士研究生, 主要从事植物抗逆分子机理研究。E-mail: fzhou\_413@yahoo.com.cn.

通信作者: 彭明 (1956—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事作物分子生物学相关研究。E-mail: mmpeng\_2000@yahoo.com.

粉产量和优良的非生物胁迫耐受性,是一个优先选择的生物质能源作物。世界上大多数木薯生长在干旱地区,其中28%的木薯遭受3—5个月的旱季,17%的木薯遭受半年以上的旱季,因此对其抗旱生理的研究尤为重要<sup>[1-4]</sup>。

内源激素是影响植物生长发育的内在调节因子,当土壤水缺失时,多种植物内源激素如脱落酸(ABA)、吲哚乙酸(IAA)、赤霉素(GA)和玉米素核苷(ZR)以相当复杂的方式协调作用,共同响应干旱胁迫环境<sup>[5-10]</sup>。其中ABA合成于根尖,经维管束运送到地上部,一方面调节植物对水分的合理利用,另一方面ABA可作为信号物质响应逆境胁迫;IAA可以促进细胞生长及侧根和不定根的发生;GA在植物根尖生成,促进植物茎节的伸长生长和花芽分化;ZR作为细胞分裂素具有拮抗ABA的作用,干旱胁迫可以阻止ZR在根系中的合成和向外运输,细胞分裂素与ABA间的平衡作用影响气孔的开闭,从而

在干旱适应中起重要作用<sup>[11-18]</sup>。

本研究模拟自然干旱环境条件,以不同品种木薯为试验材料,通过研究不同程度干旱胁迫过程中内源ABA、IAA、GA和ZR含量的变化,旨在阐明不同程度干旱胁迫对木薯内源激素的影响,为激素在干旱下的化学调控机理研究和木薯抗旱种质筛选提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料及处理

供试材料采自中国热带农业科学院热带生物技术研究所文昌实验基地,选用抗旱性差异较大的4个木薯品种,分别为阿根廷7号(即C4)、华南124(SC124)、华南8号(SC8)和KU50,其中SC124为抗旱品种,C4、KU50、SC8为敏感品种(4个木薯品种在不同试验采样点的干旱现象参见表1)。

表1 干旱胁迫下不同木薯品种的表型变化

Table 1 Phenotypic changes of different cassava varieties under drought stress

干旱天数/d Days of stress	C4	SC124	SC8	KU50
0	叶片坚挺 All leaves were fine	叶片坚挺 All leaves were fine	叶片坚挺 All leaves were fine	叶片坚挺 All leaves were fine
2	叶片坚挺 All leaves were fine	叶片坚挺 All leaves were fine	底部功能叶轻度下垂 Lower functional leaves became slightly drooping	底部功能叶轻度下垂 Lower functional leaves became slightly drooping
4	底部功能叶轻度下垂 Lower functional leaves became slightly drooping	底部功能叶轻度下垂 Lower functional leaves became slightly drooping	底部功能叶显著下垂 Lower functional leaves became remarkably drooping	底部功能叶下垂 Lower functional leaves became drooping
6	底部功能叶开始黄化且下垂 Lower functional leaves became yellow and drooping	底部功能叶稍有下垂 Lower functional leaves became slightly drooping	底部功能叶萎蔫 Lower functional leaves became wilting	底部功能叶轻度萎蔫 Lower functional leaves became slightly wilting
8	上部叶片下垂,中部功能叶萎蔫,底部功能叶严重萎蔫 Upper leaves became drooping, middle leaves became wilting, and lower functional leaves became seriously wilting	上中部叶片下垂,底部功能叶黄化萎蔫 Upper and middle leaves became drooping, and lower functional leaves became yellow and wilting	上部叶片下垂,中部功能叶萎蔫,底部功能叶黄化干枯 Upper leaves became drooping, middle leaves became wilting, and lower functional leaves became yellow and drying	上部叶片下垂,中部功能叶萎蔫,底部功能叶黄化干枯 Upper leaves became drooping, middle leaves became wilting, and lower functional leaves became yellow and drying
10	上部叶片萎蔫,中部功能叶黄化萎蔫,底部功能叶干枯脱落 Upper leaves became wilting, middle leaves became yellow and wilting, and lower functional leaves became drying and shedding	上部叶片萎蔫,中部功能叶黄化萎蔫,底部功能叶黄化开始干枯 Upper leaves became wilting, middle leaves became yellow and wilting, and lower functional leaves became yellow and drying	仅剩上部叶片且上部叶片严重萎蔫,中部功能叶干枯脱落 Only upper leaves were left; upper leaves became seriously wilting, and middle functional leaves became drying and shedding	仅剩中上部叶片且上部叶片严重萎蔫,中部功能叶干枯脱落 Only upper and middle leaves were left; upper leaves became seriously wilting, and middle functional leaves became drying and shedding.

处理方法:将普通地表土与蛭石按1:1混合做为试验用土。将试验用土晒干后分别装入规格为210 mm × 150 mm × 185 mm(口径 × 底径 × 高)的塑料花盆中,并于每盆扦插一株木薯茎秆后称重( $W_1$ ),保证 $W_1$ 等于3 kg,然后充分浇水,当试验用土吸水饱和且不再有水流出时再称取茎秆、土、花盆

三者的总重( $W_2$ )。最大持水量( $W$ )为充分浇水后的重量 $W_2$ 减去浇水前的重量 $W_1$ ,即 $W = W_2 - W_1$ 。

将4个品种的木薯茎秆盆栽于海口热带生物技术研究所的防雨大棚,每周进行数次浇水和营养液补给,保证木薯正常生长,3个月后,待幼苗长至1 m左右时准备进行干旱处理。将每个品种的所有盆栽

分为两部分,一部分盆栽作为对照(每天下午18:00补水至其最大持水量  $W$  的 90%);另一部分盆栽干旱处理(不浇水)。处理过程中分 6 个时间点(0、2、4、6、8、10 d)采样,每个时间点均设 3 次重复,分别于每一时间点采集不同处理植株的第 4 片功能叶(从顶端的第一片嫩叶往下数)和根尖(约 2 cm),液氮速冻后保存于  $-80^{\circ}\text{C}$  冰箱。

## 1.2 测定方法

采用酶联免疫吸附测定法(ELISA)<sup>[19-20]</sup>,激素测定试剂盒由中国农业大学王保民博士提供。按照 ELISA 说明书,测定方法如下:同时称取同一植物样品 2 份(每份 1 g);其中一份(1 g)加 2 ml 提取液,在液氮下研磨成匀浆,转入 10 ml 离心管,再用提取液分次将研钵洗净,一起转入离心管,摇匀后放入  $4^{\circ}\text{C}$  冰箱提取 4 h,  $3\,500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$  离心 8 min,取上清液,沉淀加 1 ml 提取液,  $4^{\circ}\text{C}$  提取 1 h,离心,合并上清液并记录体积。上清液过 C-18 固相萃取柱,然后将样品转入 5 ml 离心管中,用氮气吹干甲醇,定容(一般 1 g 鲜重用 2 ml 左右的样品稀释液定容)。激素提取完毕后,采用 ELISA 方法经竞争、洗板、加二抗、洗板、加显色底物、比色等步骤,用酶联免疫检测仪(华

东电子管厂生产 DG-3022A 型)分别测定内源激素 ABA、IAA、GA 及 ZR 的含量,重复 3 次。因干旱胁迫下木薯幼苗的萎蔫程度不一,含水量不同,故将另一份样品(1 g)充分烘干,再称重,计算样品含水率。将新鲜样本中内源激素的含量折合成干重样本中的相应激素含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱胁迫对苗期木薯根系与叶片中内源 ABA 含量的影响

干旱条件下苗期木薯根系与叶片中内源 ABA 含量的变化如图 1 所示。由图可知,在苗期木薯根系中,SC8 品种内源 ABA 含量在干旱 2 天内上升约 28.5%,之后含量未发生大幅变化;C4 和 SC124 品种内源 ABA 含量变化趋势较为一致,胁迫开始时 ABA 含量增加,干旱第 4 天时含量开始降低,第 6 天时基本恢复至干旱前水平,但随后 ABA 含量大幅度增加,第 10 天时达到最大值,其中 C4 在所有试验品种中增加幅度最大,为初始值的 2 倍多;KU50 中内源 ABA 在干旱前 8 天呈小幅增加趋势,干旱第 8 天时 ABA 含量大幅下降,降低至初始水平。

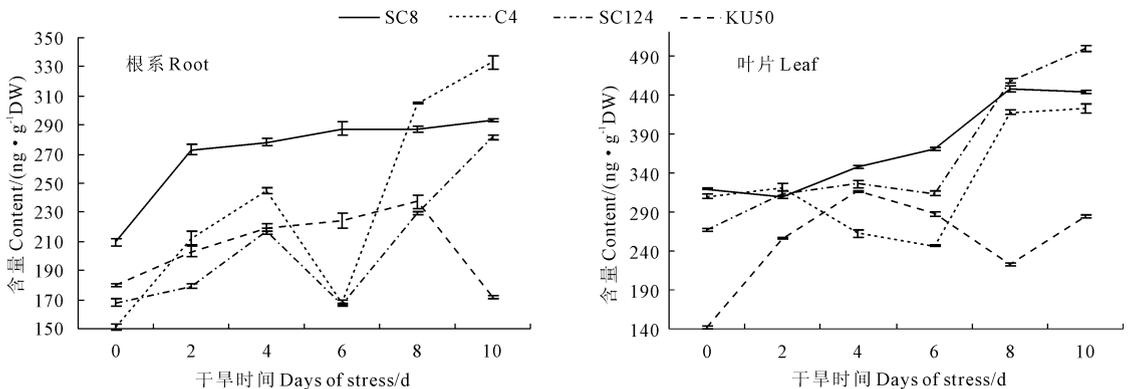


图 1 干旱胁迫下苗期木薯根系与叶片中内源 ABA 含量变化

Fig.1 The changes of endogenous ABA content in roots and leaves of cassava at seedling stage under drought stress

在苗期木薯叶片中,SC8 品种 ABA 含量在干旱前 8 天一直呈上升趋势,8 至 10 天基本未变;在干旱前 6 天,SC124 品种 ABA 含量小幅上升,C4 品种 ABA 含量下降,6 天后,SC124 和 C4 变化趋势一致,先大幅上升后基本稳定,其中 SC124 增加幅度较大;KU50 品种 ABA 含量在干旱 0 至 4 天上升,4 至 8 天有所下降,8 天至 10 天又略有上升。

逆境条件会大大增强植物 ABA 的生物合成,干旱条件下,ABA 的积累主要来自 ABA 释放和新 ABA 的生物合成。干旱初期,根尖迅速释放大量的 ABA,随着干旱程度加强,ABA 的积累主要依赖于

ABA 的生物合成,因此部分苗期木薯根与叶中会出现小幅度增加,而后大幅增加的倾向,如 SC124、C4 品种;而根据 SC8、KU50 品种 ABA 的变化趋势推断,其积累可能主要来自于根尖 ABA 的大量释放。

### 2.2 干旱胁迫对苗期木薯根系与叶片中内源 IAA 含量的影响

干旱条件下苗期木薯根系与叶片中内源 IAA 含量的变化如图 2 所示。由图可知,在干旱条件下,不同品种的苗期木薯根系与叶片中内源 IAA 含量变化不同。在根系中,C4 和 SC8 品种内源 IAA 含量变化总体呈上升趋势,SC8 和 C4 品种 IAA 含量分别

在干旱前 4 天和前 6 天小幅下降,随后均大幅度增加,C4 增加幅度相对较大,可能是由于干旱初期,根尖感受水分缺失,植物响应胁迫,减少 IAA 合成,以减少生长,随着干旱程度增强,IAA 合成增加以促进侧根和不定根的形成,吸收水分;KU50 和 SC124 的

根中 IAA 含量变化总体呈下降趋势,KU50 在干旱前 4 天 IAA 含量有所降低,4 至 6 天略有回升,随后急剧下降,下降幅度较大,为初始值的 2 倍,SC124 在干旱前 4 天的下降速率较大,4 至 8 天 IAA 含量有所回升,第 10 天又小幅下降。

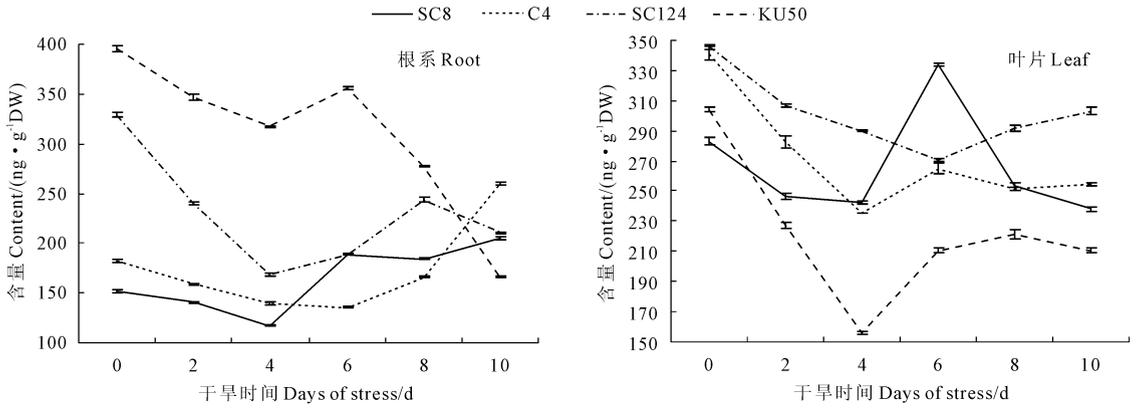


图 2 干旱胁迫下苗期木薯根系与叶片中内源 IAA 含量变化

Fig.2 The changes of endogenous IAA content in roots and leaves of cassava at seedling stage under drought stress

在木薯叶片中,SC124、C4 和 KU50 品种 IAA 含量的变化趋势较一致,呈先下降后略有上升的变化趋势,C4 和 KU50 在干旱第 4 天出现转折,SC124 则在第 6 天,其中 SC124 和 C4 中 IAA 含量下降与上升的幅度较小,KU50 的变化幅度较大;SC8 品种在干旱前 4 天内 IAA 含量略有下降,4 至 6 天呈上升趋势,6 至 10 天含量大幅下降。从实验结果可以看出,不同品种木薯的内源 IAA 水平及对于干旱胁迫的响应不一致,且无明显规律可循,这可能与 IAA 的合成部位、合成时期、运输途径、运输方式以及对于干旱胁迫的响应程度有关,具体机理有待进一步研究。

量的变化如图 3 所示。由图可知,内源激素 GA 在苗期木薯根系与叶片中的含量较少,根中含量均小于  $30 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ,叶片中含量均小于  $32 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ,其含量的变化趋势因品种不同而略显差异。在木薯根系中,SC8、SC124 和 C4 品种内源 GA 含量均呈下降趋势,SC8 与 SC124 变化趋势类似,干旱 6 天内 GA 含量下降,6 至 10 天含量变化幅度不大,C4 在干旱前 4 天 GA 含量下降较快,4 至 6 天有所回升,6 至 10 天含量略有下降,SC8、SC124 和 C4 中内源 GA 含量在干旱第 10 天时含量均下降至  $11.5 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$  左右;KU50 根中内源 GA 含量较其他品种高,且变化幅度较小,4 天内下降速率与 SC8、SC124 基本相同,4 至 8 天略有上升,8 至 10 天含量下降。

2.3 干旱胁迫对苗期木薯根系与叶片中内源 GA 含量的影响

干旱条件下苗期木薯根系与叶片中内源 GA 含

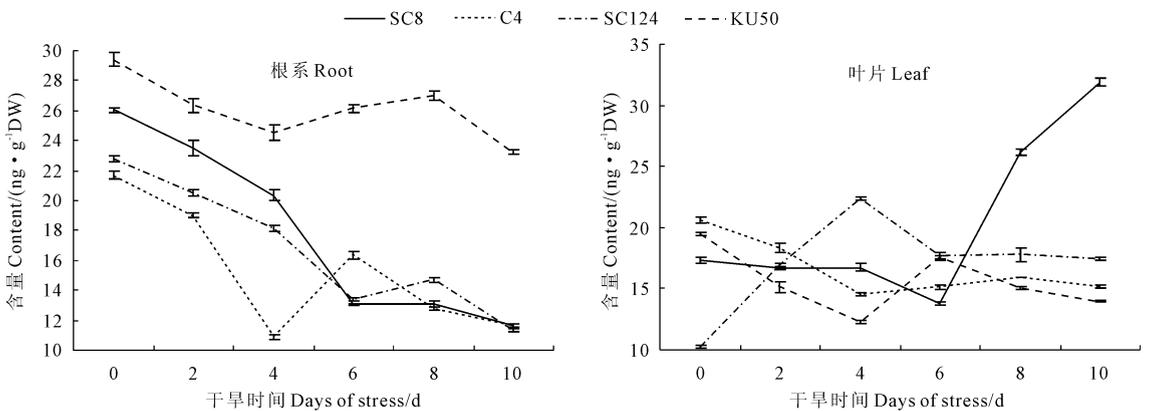


图 3 干旱胁迫下苗期木薯根系与叶片中内源 GA 含量变化

Fig.3 The changes of endogenous GA content in roots and leaves of cassava at seedling stage under drought stress

在叶片中, C4 和 KU50 在干旱 4 天内, GA 含量下降, 4 天后 C4 含量变化较小, 4 至 6 天 KU50 含量略有上升, 随后含量基本稳定; SC124 在干旱开始后 GA 含量急剧增加, 干旱 4 天时达到最大值, 4 至 6 天略有下降, 6 天后含量基本稳定; SC8 内源 GA 含量在 6 天内略有下降, 但在干旱 6 天后内源 GA 含量急剧上升, 10 天时达到最大值, GA 含量升高了 2 倍以上。

GA 可以促进植物茎节的伸长生长及花芽分化, 干旱胁迫下, 苗期木薯根中的 GA 含量均有所下降, 叶片中除 SC8 与 SC124 含量上升外, 其余两个品种含量均略有下降, 从表型来看, SC8 与 SC124 植株相对较高, 茎节发达, 且 SC8 芽点密集, 两者的茎节伸长生长与芽分化需要大量的 GA, 可能是 GA 含量较高的原因之一。

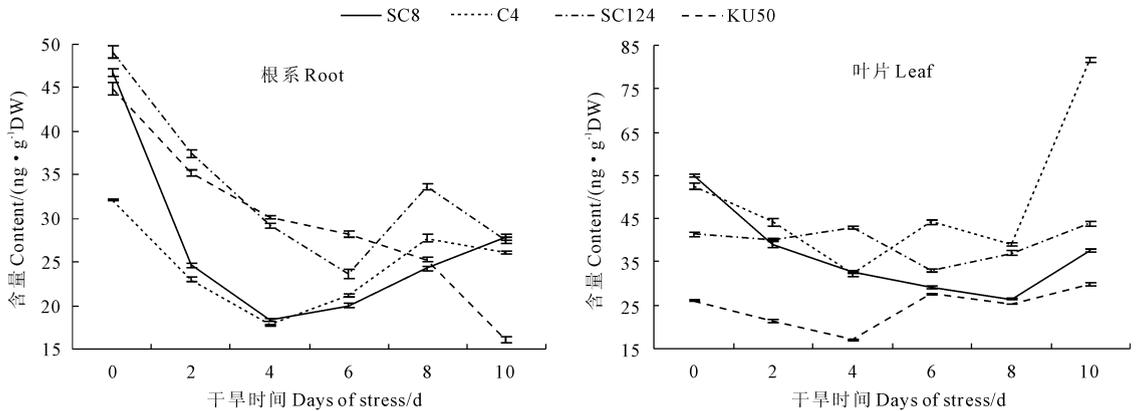


图 4 干旱胁迫下苗期木薯根系与叶片中内源 ZR 含量变化

Fig. 4 The changes of endogenous ZR content in roots and leaves of cassava at seedling stage under drought stress

在叶片中, SC124 品种 ZR 含量变化呈先下降后回升的变化趋势, 但变化幅度均较小; SC8 在干旱前 8 天 ZR 含量一直呈现下降趋势, 第 10 天略有回升; KU50 和 C4 的 ZR 含量变化趋势类似, 干旱前 4 天均略有下降, 4 至 6 天含量回升, 8 天时又略有下降, 第 10 天时 KU50 的 ZR 含量略有上升, C4 则急剧上升, 上升幅度较大, 终含量在原水平的 2 倍以上。

ZR 具有促进细胞分裂、扩大, 延缓叶片衰老等作用, 在根尖中合成, 当生长环境水分缺失时, 最先感受胁迫部位是在根尖, 根中合成和运输 ZR 的量会明显减少, 如图 4 所示的变化趋势; 在叶片中则因品种的不同而呈现不同的变化趋势, 大部分品种变化幅度较小。

## 2.5 干旱胁迫对苗期木薯根系与叶片中内源激素比例的影响

木薯的生长发育及生理调节是多种激素相互作用

## 2.4 干旱胁迫对苗期木薯根系与叶片中内源 ZR 含量的影响

干旱条件下苗期木薯根系与叶片中内源 ZR 含量的变化如图 4 所示。由图可知, 木薯内源 ZR 在各个品种根中含量总体上呈下降趋势, 叶片中不同品种的变化趋势不同。在根中, C4 与 SC8 内源 ZR 含量变化趋势相似, 均呈先下降后回升趋势, 但最终含量低于初始值, 含量回升均出现在干旱第 4 天, 不同之处在于 SC8 内源 ZR 的初始含量较高, 且在干旱 2 天内下降速率明显高于 C4; KU50 内源 ZR 含量呈一直下降趋势, 降低幅度较大, 下降达 2 倍以上; SC124 在干旱 6 天内降低速率与降低幅度较大, 但在 6 至 8 天时含量有所回升, 干旱 10 天又略有下降, 总体上呈下降趋势。

用的结果, 干旱胁迫不仅会影响到内源激素的积累, 也会影响到激素间的比例变化。激素间的相互作用包括拮抗作用、增效作用、协同作用、反馈作用等作用方式, 不同激素间的比例同样会对植物的生长发育造成影响, 因此研究干旱胁迫对根系与叶片中不同内源激素比例的影响较为重要。

研究指出, IAA 与 ABA 是发挥拮抗作用的激素, 二者的比例变化影响着植物器官生长与脱落; ZR 与 ABA 的比例影响植物的顶端优势; IAA 与 GA 的比例影响木质部和韧皮部的分化; IAA 与 ZR 的比例对根分化与芽分化产生重要作用; GA 与 ABA 的比例可以影响种子萌发、性别分化及植物休眠等生理活动。干旱胁迫下, 不同木薯内源激素间的比值如表 2 所示。

表 2 干旱胁迫下苗期木薯根系与叶片中内源激素的比例变化

Table 2 The proportional changes of endogenous phytohormones in roots and leaves of cassava at seedling stage under drought stress

激素比例 Ratio	品种 Variety	根系 Root						叶片 Leaf					
		0 d	2 d	4 d	6 d	8 d	10 d	0 d	2 d	4 d	6 d	8 d	10 d
IAA/ABA	C4	1.207	0.749	0.572	0.809	0.544	0.780	1.103	0.879	0.899	1.079	0.604	0.603
	KU50	2.198	1.708	1.448	1.589	1.166	0.966	2.141	0.889	0.494	0.732	0.995	0.741
	SC8	0.726	0.515	0.421	0.654	0.642	0.698	0.887	0.798	0.699	0.902	0.568	0.537
	SC124	1.959	1.338	0.776	1.133	1.064	0.748	1.296	0.979	0.891	0.863	0.639	0.607
ZR/ABA	C4	0.213	0.108	0.073	0.126	0.091	0.078	0.170	0.139	0.123	0.180	0.094	0.193
	KU50	0.248	0.174	0.137	0.126	0.106	0.093	0.183	0.083	0.054	0.096	0.114	0.105
	SC8	0.223	0.090	0.066	0.069	0.085	0.095	0.172	0.127	0.094	0.079	0.059	0.085
	SC124	0.293	0.209	0.134	0.142	0.147	0.098	0.155	0.128	0.132	0.105	0.081	0.088
IAA/GA	C4	8.401	8.364	12.85	8.287	12.97	22.31	16.55	15.41	16.21	17.52	15.81	16.75
	KU50	13.43	13.14	12.92	13.61	10.24	7.145	15.63	15.00	12.68	12.01	14.73	15.08
	SC8	5.836	5.980	5.758	14.41	14.11	17.54	16.33	14.77	14.49	24.15	9.710	7.470
	SC124	14.41	11.70	9.319	14.07	16.56	18.55	33.85	18.16	12.99	15.30	16.39	17.38
IAA/ZR	C4	5.677	6.909	7.884	6.400	5.978	9.961	6.491	6.378	7.319	5.985	6.459	3.117
	KU50	8.802	9.838	10.54	12.61	10.96	10.37	11.69	10.71	9.204	7.632	8.744	7.084
	SC8	3.247	5.719	6.399	9.418	7.588	7.362	5.156	6.289	7.430	11.44	9.602	6.327
	SC124	6.696	6.404	5.784	8.003	7.243	7.656	8.363	7.648	6.776	8.209	7.882	6.911
GA/ABA	C4	0.144	0.090	0.045	0.098	0.042	0.035	0.067	0.057	0.055	0.062	0.038	0.036
	KU50	0.164	0.130	0.112	0.117	0.114	0.135	0.137	0.059	0.039	0.061	0.068	0.049
	SC8	0.124	0.086	0.073	0.045	0.046	0.040	0.054	0.054	0.048	0.037	0.059	0.072
	SC124	0.136	0.114	0.083	0.081	0.064	0.040	0.038	0.054	0.069	0.056	0.039	0.035

由表 2 可知,不同品种的苗期木薯在干旱胁迫下内源激素的比例呈现不同的变化规律。内源 IAA 与 ABA 的比值,在根系中,不同品种总体上均呈下降趋势,仅 SC8 在干旱第 6 天略有回升后基本维持稳定,降低幅度依次为 SC124 > KU50 > C4 > SC8, SC124 的下降幅度达到 61.8%;在叶片中,SC124 呈一直下降趋势,其他品种呈现波动性变化,但最终含量均比原水平低;干旱过程中 ABA 大量积累,IAA 合成量减少,会造成 IAA/ABA 值降低,降低幅度反映出不同品种对干旱的响应程度。内源 ZR 与 ABA 的比值,在根系中, KU50 和 SC124 一直下降, C4 和 SC8 稍有变化,但总体上呈下降趋势,降低幅度较为接近,依次为 SC124 > C4 > KU50 > SC8, SC124 降幅为 66.6%,其余品种降幅均在 60%左右;在叶片中, SC8 与 SC124 均呈现明显下降趋势,而 KU50 和 C4 的变化趋势为先下降后上升; ZR/ABA 值的变化影响植物的顶端优势,进而影响生长情况,还可能与植物抗旱性相关。IAA 与 GA 的比值,在根系中, SC8、SC124 和 C4 总体上均呈现上升趋势, KU50 则呈现下降趋势;在叶片中, KU50 的比值基本未发生变化, SC8 与 C4 呈现先上升后下降趋势, SC124 比值先下

降后上升,最终比值小于原水平。IAA/ZR 的比值,在根系中, KU50 与 SC8 均呈现先上升后下降趋势, C4 呈现先升后降再升的变化趋势, SC124 呈现先降后升再降的变化趋势;在叶片中, SC124 和 KU50 比值呈波动性变化, C4 和 SC8 出现先升后降的变化趋势。GA/ABA 值,在根系中, SC8 与 SC124 呈现一直下降趋势, KU50 出现先下降最后又略有回升的趋势, C4 呈现明显的波动性变化;在叶片中,几种木薯品种均呈波动性变化。

不同木薯品种在不同的干旱时期及植物器官内,各激素的比值变化呈现不同的规律性,整个激素的调节过程是相当复杂的过程,比值的变化可能与激素的合成部位、合成途径,运输方式以及激素间的相互作用有关。实验结果表明, IAA/ABA、ZR/ABA 的比值变化呈现一定的规律性,在根系中,变化幅度最大均是 SC124,变化幅度最小的为 SC8, C4 与 KU50 处于中间,结合木薯干旱过程中的相关表型, SC124 更加抗旱, SC8 耐旱性较弱, KU50 和 C4 处于中间程度,由此推测 IAA/ABA、ZR/ABA 大小可能与木薯的抗旱性能具有一定相关性。IAA/GA、IAA/ZR、GA/ABA 的变化在本实验中未发现明显的变化规律。

### 3 结论与讨论

植物激素分别或者相互协调地调控植物的生长、发育和分化,内源激素水平的变化与平衡可以灵活多样地调节植物的生理活动。干旱胁迫下,植物内源激素的含量及相互平衡会发生一系列的变化,各种激素协调作用,共同响应胁迫环境,以适应生长需要。

本研究结果表明,随着干旱胁迫程度的增强,4种木薯试验品种的内源 ABA 含量在根系与叶片中均有不同程度积累,仅 KU50 品种根系中 ABA 在干旱第 8 天有所下降,说明在干旱胁迫下苗期木薯中内源 ABA 的生物合成量增加;内源 IAA 含量因品种不同呈现不同的变化趋势,且在根系与叶片中的含量变化不同,在根系中除 KU50 和 SC124 含量下降外,其余品种含量上升,叶片中除 SC8 品种 IAA 含量呈先上升后下降的变化趋势外,其余品种均呈先下降后上升的变化趋势;4 种木薯品种内源 GA 含量在根系中均有所下降,叶片中不同品种变化规律不同,大致分为两种情况:GA 含量小幅变化(C4、KU50),GA 含量上升(SC8、SC124);4 种木薯内源 ZR 含量在根中下降趋势明显,叶片中 ZR 含量呈现先下降后上升的变化趋势,其中 C4 变化幅度较大,其余品种变化幅度较小。根系是植物最先感知土壤环境变化的器官,同时也是多种植物激素的主要生物合成器官,以上内源激素含量在根系中的变化规律较叶片更具代表性。

干旱胁迫下,不同激素的比值均发生不同程度改变,激素间的相互平衡对植物的一系列生理活动产生很大影响。本研究结果表明,IAA/ABA, ZR/ABA 在根系中均呈现明显的下降趋势,且均为 SC124 降幅最大,SC8 降幅最小, KU50 与 C4 降幅处于中间位置,根据不同木薯品种的表型变化,如叶片的萎蔫程度、植株高矮、根系结构、重度干旱下的存活时间等生理指标,得出 SC124 木薯在 4 种品种中最为抗旱,SC8 抗旱性最弱, KU50 与 C4 处于中等位置,进一步说明 IAA/ABA、ZR/ABA 可能与木薯的抗旱性能具有一定相关性。IAA/GA、IAA/ZR、GA/ABA 的比值在木薯根系与叶片中均呈现不同程度的波动性变化,但未发现明显的规律性,可能与不同的木薯品种,激素的合成部位、合成方式、运输方式、对干旱胁迫的响应程度等因素有关。

#### 参考文献:

[1] 黄杰,李开棉,叶剑秋,等.我国的木薯优势区域概述[J].广西农业科学,2008,39(1):104-108.

- [2] Blair M, Fregene M, Beebe S, et al. Marker-assisted breeding in common beans and cassava. Marker-assisted selection: Current status and future perspectives in crops, livestock, forestry and fish[R]. Rome: Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO), 2007:81-115.
- [3] The Cassava Genome: Current Progress, Future Directions[J]. Trop Plant Bio, 2012,5(1):88-94.
- [4] Bray E A. Plant responses to water deficit[J]. Trends Plant Sci, 1997,2:48-54.
- [5] 师晨娟,刘勇,荆涛.植物激素抗逆性研究进展[J].世界林业研究,2006,19(5):21-26.
- [6] Zvi Peleg, Eduardo Blumwald. Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants[J]. Plant Biology, 2011,14:290-295.
- [7] 赵文魁,童建华,张雪芹,等.干旱胁迫下几种柑橘植物内源激素含量的变化规律[J].农业与技术,2007,27(4):55-58.
- [8] Wolters H, Jurgens G. Survival of the flexible: hormonal growth control and adaptation in plant development[J]. Nature Review Genetics, 2009,10:305-317.
- [9] Pustovoitova T N. Changes in the levels of IAA and ABA in cucumber leaves under progressive soil drought[J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2004,51(4):513-517.
- [10] 汪月霞,索标,赵鹏飞,等.外源 ABA 对干旱胁迫下不同品种灌浆期小麦 psbA 基因表达的影响[J].作物学报,2011,37(8):1372-1377.
- [11] Jaillais Y, Chory J. Unraveling the paradoxes of plant hormone signaling integration[J]. Nature Structural & Molecular Biology, 2010,17:642-645.
- [12] Yang Jianchang, Zhang Jianhua, Wang Zhiqin, et al. Hormones in the grains in relation to sink strength and postanthesis development of spikelets in rice[J]. Plant Growth Regulation, 2003,41(3):183-195.
- [13] Cutler SR, Rodriguez PL, Finkelstein RR, et al. Abscisic acid: emergence of a core signaling network[J]. Annual Review of Plant Biology 2010,61:651-679.
- [14] Argueso CT, Raines T, Kieber JJ: Cytokinin signaling and transcriptional networks[J]. Current Opinion in Plant Biology, 2010,13:533-539.
- [15] 李玉梅,李建英,王根林,等.水分胁迫对大豆幼苗叶片内源激素的影响[J].大豆科学,2007,26(4):627-629,636.
- [16] 宁约瑟,王国梁,谢旗.泛素连接酶 E3 介导的植物干旱胁迫反应[J].植物学报,2011,46(6):606-616.
- [17] Xue - Xuan X, Hong - Bo S, Yuan - Yuan M, et al. Biotechnological implications from abscisic acid(ABA) roles in cold stress and leaf senescence as an important signal for improving plant sustainable survival under abiotic-stressed conditions [J]. Crit Rev Biotechnol, 2010,30:222-230.
- [18] Ingram J, Bartels D. The molecular basis of dehydration tolerance in plant[J]. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Bio, 1996,47:377-403.
- [19] 郝冬梅,胡国公,穆琳.烟草内源激素的酶联免疫吸附法(ELISA)测定[J].烟草科技,2000,5:41-42.
- [20] Jing Zhao, Gang Li, Guo-Xiang Yi, et al. Comparison between conventional indirect competitive enzyme-linked immunosorbent assay (icELISA) and simplified icELISA for small molecules[J]. Analytica Chimica Acta, 2006,571(1):79-85.