

# 海南地区种植不同菊芋品种的生长指标和 糖分组成分析及适宜品种筛选

陈咏文, 辛邵南, 隆小华<sup>①</sup>, 刘兆普, 刘玲, 高秀美

(南京农业大学资源与环境科学学院 江苏省海洋生物学重点实验室, 江苏 南京 210095)

**摘要:** 对种植于海南地区的不同菊芋 (*Helianthus tuberosus* Linn.) 品种的生长指标和糖分组成进行比较和分析, 并筛选出适宜海南地区种植的菊芋品种。结果表明: 随着时间的推移, 6 个菊芋品种的株高、茎粗、单株地上部干质量、单株根干质量及单株总干质量总体上呈逐渐升高的趋势, 而根长的变化趋势各异。10 月 26 日 (成熟期), ‘泰芋 1 号’ (‘Taiyu No. 1’) 的株高和茎粗最高, ‘南芋 9 号’ (‘Nanyu No. 9’) 的根长以及块茎和茎干的产量、单株鲜质量和含水率最高, ‘南芋 1 号’ (‘Nanyu No. 1’) 的单株地上部干质量、单株块茎干质量及单株总干质量最高, ‘青芋 2 号’ (‘Qingyu No. 2’) 的单株根干质量最高。随着时间的推移, 6 个菊芋品种叶片中可溶性糖含量的变幅相对较小, 而茎干中可溶性糖含量则总体上呈逐渐降低的趋势; 6 个菊芋品种叶片和茎干中还原糖含量的变化趋势各异。10 月 26 日, ‘南芋 9 号’ 叶片中可溶性糖含量最高, 6 个菊芋品种间叶片中还原糖含量差异不显著, ‘泰芋 1 号’ 茎干中可溶性糖和还原糖含量最高; ‘南芋 1 号’、‘南芋 9 号’、‘泰芋 1 号’ 和 ‘泰芋 2 号’ (‘Taiyu No. 2’) 块茎中可溶性糖含量较高, ‘青芋 2 号’、‘泰芋 2 号’ 和 ‘泰芋 3 号’ (‘Taiyu No. 3’) 块茎中还原糖含量较高。随着时间的推移, ‘南芋 1 号’、‘南芋 9 号’ 和 ‘青芋 2 号’ 叶片和茎干中果糖含量总体上呈逐渐升高的趋势, ‘泰芋 1 号’、‘泰芋 2 号’ 和 ‘泰芋 3 号’ 叶片和茎干中果糖含量均呈先降低后升高的趋势; 6 个菊芋品种叶片中葡萄糖含量总体上呈逐渐升高的趋势, 而茎干中葡萄糖含量总体上呈先降低后升高的趋势; 6 个菊芋品种叶片和茎干中蔗糖含量的变化趋势各异。总体上看, 同一时期 6 个菊芋品种间叶片和茎干中蔗果三糖、蔗果四糖和蔗果五糖含量的差异均不显著。综合研究结果显示: 适宜在海南地区种植的菊芋品种为 ‘南芋 1 号’ 和 ‘南芋 9 号’。

**关键词:** 菊芋; 热带地区; 生长指标; 糖分组成; 品种筛选

中图分类号: Q945.3; S566.9; S632.9 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2018)01-0060-10

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2018.01.08

**Analyses on growth indexes and sugar composition of different cultivars of *Helianthus tuberosus* planted in Hainan district and suitable cultivar screening** CHEN Yongwen, XIN Shaonan, LONG Xiaohua<sup>①</sup>, LIU Zhaopu, LIU Ling, GAO Xiumei (Jiangsu Provincial Key Laboratory of Marine Biology, College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2018, 27(1): 60-69

**Abstract:** The growth indexes and sugar composition of different cultivars of *Helianthus tuberosus* Linn. planted in Hainan district were compared and analyzed, and *H. tuberosus* cultivars suitable for planting in Hainan district were screened out. The results show that with prolonging of time, plant height, stem diameter, dry weight of above-ground part per plant, dry weight of root per plant, and total dry weight per plant of six cultivars of *H. tuberosus* generally increase gradually, while changes of root length show different trends. On October 26 (mature stage), plant height and stem diameter of ‘Taiyu No. 1’ are the highest, root length, and yield, fresh weight per plant and moisture content of tuber and stem of ‘Nanyu

收稿日期: 2016-12-15

基金项目: 江苏省政策引导类计划(产学研合作)——前瞻性联合研究项目(BY2015071-03; BY2016077-02); 江苏省农业科技自主创新资金项目[CX(15)1005]; 南京农业大学基本科研业务费重点项目(KYZ201623; YZ2016-1); 国家重点研发计划(2016YFC0501200)

作者简介: 陈咏文(1991—), 男, 广东普宁人, 硕士研究生, 主要从事耐盐植物资源研究与利用方面的研究。

<sup>①</sup>通信作者 E-mail: longxiaohua@njau.edu.cn

No. 9' are the highest, dry weight of above-ground part per plant, dry weight of tuber per plant, and total dry weight per plant of 'Nanyu No. 1' are the highest, and dry weight of root per plant of 'Qingyu No. 2' is the highest. With prolonging of time, change ranges of soluble sugar content in leaves of six cultivars of *H. tuberosus* are relatively small, while soluble sugar content in stems generally decreases gradually. Changes of reducing sugar content in leaves and stems of six cultivars of *H. tuberosus* show various trends. On October 26, soluble sugar content in leaves of 'Nanyu No. 9' is the highest, there is no significant difference in reducing sugar content in leaves among six cultivars of *H. tuberosus*, and contents of soluble sugar and reducing sugar in stems of 'Taiyu No. 1' are the highest; soluble sugar content in tubers of 'Nanyu No. 1', 'Nanyu No. 9', 'Taiyu No. 1', and 'Taiyu No. 2' is relatively high, and reducing sugar content in tubers of 'Qingyu No. 2', 'Taiyu No. 2', and 'Taiyu No. 3' is relatively high. With prolonging of time, fructose content in leaves and stems of 'Nanyu No. 1', 'Nanyu No. 9', and 'Qingyu No. 2' generally increases gradually, while that in leaves and stems of 'Taiyu No. 1', 'Taiyu No. 2', and 'Taiyu No. 3' decreases firstly and then increases; glucose content in leaves of six cultivars of *H. tuberosus* generally increases gradually, while that in stems generally decreases firstly and then increases; changes of sucrose content in leaves and stems of six cultivars of *H. tuberosus* show different trends. Overall, there is no significant difference in contents of 1-kestose, nystose, and 1F-fructofuranosyl-nystose in leaves and stems of six cultivars of *H. tuberosus* at the same time. The comprehensive result shows that cultivars of *H. tuberosus* suitable for planting in Hainan district are 'Nanyu No. 1' and 'Nanyu No. 9'.

**Key words:** *Helianthus tuberosus* Linn.; tropical area; growth index; sugar composition; cultivar screening

随着全球土地盐渍化程度的不断加深和盐渍化土地面积的不断扩张,土壤盐胁迫成为制约粮食产量和质量的主要限制因子<sup>[1]</sup>。从 20 世纪 70 年代初至今,海南一直是中国南繁育种的重要基地。但是,由于海南的气候条件、种植的作物种类、施肥的种类和数量以及灌溉方式等因子导致土壤次生盐渍化非常严重,已经严重威胁到玉米(*Zea mays* Linn.)等作物的育种,急需引入新的耐盐植物<sup>[2]</sup>。

菊芋(*Helianthus tuberosus* Linn.)隶属于菊科(Asteraceae)向日葵属(*Helianthus* Linn.)<sup>[3]</sup>,在热带、温带、寒带的干旱和半干旱地区均有分布<sup>[4]</sup>。菊芋是果聚糖含量较高的少数植物之一,利用菊芋块茎生产的低聚果糖广泛应用于食品和医药行业,也可用于发酵生产燃料乙醇和生物柴油等新兴生物质能源<sup>[5-7]</sup>。菊芋茎叶可晒干制成干草或者青贮作为动物饲料,其茎干还可用作薪柴和纸浆生产原料<sup>[8-10]</sup>。

糖类是植物光合同化作用的主要产物,光合同化产物在植物体内的积累和分配与产量密切相关<sup>[11]</sup>。菊芋茎干作为果聚糖的临时储存器官,果聚糖含量变化较大;与茎干相比,叶片中的果聚糖含量较低,储存的同化产物主要是果糖、葡萄糖和蔗糖<sup>[12]</sup>。

目前,国内外学者关于菊芋耐盐性方面的研究大多集中于内陆亚热带地区<sup>[3-4,6,10,13]</sup>,针对热带地区菊芋栽培品种的研究暂属空白,实际栽培效果尚不明

确。本研究以 6 个菊芋品种为实验材料,在南京农业大学海南滩涂农业研究所试验基地进行栽培实验,通过测定部分生长指标及采用高效液相色谱-蒸发光散射检测器(HPLC-ELSD)测定不同菊芋品种在各生长期不同部位的糖分含量,以期阐明不同菊芋品种在整个生长期的生长状况及糖分转运情况,并为热带地区菊芋的种植和开发提供技术支持和理论基础。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

1.1.1 供试材料 供试 6 个菊芋品种‘南芋 1 号’(‘Nanyu No. 1’,N1)‘南芋 9 号’(‘Nanyu No. 9’,N9)‘青芋 2 号’(‘Qingyu No. 2’,Q2)‘泰芋 1 号’(‘Taiyu No. 1’,T1)‘泰芋 2 号’(‘Taiyu No. 2’,T2)和‘泰芋 3 号’(‘Taiyu No. 3’,T3)均由江苏大丰南京农业大学试验基地提供。

1.1.2 主要仪器和试剂 主要仪器包括:AL204 电子天平[梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司];UV-1800 紫外分光光度计(上海美谱达仪器有限公司);Agilent 1200 series 高效液相色谱仪[安捷伦科技(中国)有限公司];GracePure™ SPEC 18-Max(美国 Grace 公司);Alltech ELSD 3300 型蒸发光散射检测器(美国 Alltech 公司)。主要试剂包括:蔗糖、果糖、

葡萄糖、蔗果三糖、蔗果四糖和蔗果五糖标准品(日本和光纯药工业株式会社),置于4℃冰箱保存;其他分析级和色谱级化学试剂均购自南京寿德实验器材有限公司。

## 1.2 方法

1.2.1 设计与种植管理 实验在位于海南乐东尖峰岭的南京农业大学海南滩涂农业研究所试验基地(北纬18°40′、东经108°46′)进行,年均温23.0℃~25.5℃,年均降水量1118mm;土壤类型为赤红壤,含盐量为2.30~4.50g·kg<sup>-1</sup>,pH6.88,总氮、速效磷和速效钾含量分别为0.21g·kg<sup>-1</sup>、4.01mg·kg<sup>-1</sup>和18.52mg·kg<sup>-1</sup>,耕层有机质含量6.94g·kg<sup>-1</sup>。采用随机区组设计,于2015年3月22日深松整地,机械起垄,垄宽1m。于4月中旬播种,每个小区面积4m×5m,每个品种种植3个小区,小区内植株均以株距50cm、行距100cm进行种植。

1.2.2 测定项目及方法 根据菊芋在海南的生长期,采样时间分别为5月6日(幼苗期)、6月3日(根茎形成期)、7月21日(开花期)和10月26日(成熟期)。每个小区随机取3株菊芋,测量其株高、茎粗和根长。其中,株高(植株根颈部到顶部的距离)和根长(根基部至根尖的长度)采用卷尺(精度0.1cm)测量,茎粗(植株根颈处的直径)采用游标卡尺(精度0.02mm)测量。

分别于5月6日、6月3日、7月21日和10月26日在每个小区随机取3株植株,自来水冲洗干净后再用去离子水冲洗干净,用吸水纸吸干样品上的水分,其中,5月6日、6月3日和7月21日的各单株分为叶片、茎干和根,10月26日的各单株分为叶片、茎干、根和块茎。采用电子天平分别称量各部位鲜质量;然后将各部位置于110℃烘箱杀青10min,再于75℃烘干至恒质量,分别称量其干质量。单株地上部干质量为单株叶片干质量和单株茎干干质量之和。块茎和茎干的含水率按照公式“含水率=[1-(单株某一部位的干质量/单株相应部位的鲜质量)]×100%”进行计算。

各组织样品研磨后,与去离子水按质量体积比1:3混匀,置于100℃水浴锅中40min以去除蛋白质,反复抽提3次,收集3次滤液,将滤液用孔径0.45μm的水相滤膜过滤,获取上样液,用于HPLC-ELSD测定。

可溶性糖含量采用苯酚-硫酸法<sup>[14]</sup>进行测定;还

原糖含量采用DNS法<sup>[15]</sup>进行测定;葡萄糖(glucose)、蔗糖(sucrose)、果糖(fructose)、蔗果三糖(1-kestose)、蔗果四糖(nystose)和蔗果五糖(1F-fructofuranosylnystose)的含量采用HPLC-ELSD<sup>[16]</sup>进行测定。

## 1.3 数据统计分析

使用EXCEL 2013和SPSS 19.0统计分析软件对实验数据进行one-way方差分析(ANOVA)和Tukey's检验( $P \leq 0.05$ )。

## 2 结果和分析

### 2.1 不同菊芋品种生长指标的比较

2.1.1 形态指标的比较 海南地区种植的不同菊芋品种株高、茎粗和根长的比较结果见表1。由表1可以看出:随着时间的推移,6个菊芋品种的株高总体上呈逐渐升高的趋势。5月6日(幼苗期),‘泰芋2号’和‘泰芋3号’的株高显著高于‘南芋9号’、‘青芋2号’和‘泰芋1号’。6月3日(根茎形成期),仅‘南芋1号’的株高显著高于‘泰芋1号’,其他品种间无显著差异。7月21日(开花期),6个菊芋品种间的株高均差异不显著。10月26日(成熟期),‘泰芋1号’的株高显著高于其他品种,‘青芋2号’的株高显著低于其他品种,其他4个品种间的株高差异不显著。

由表1还可以看出:随着时间的推移,‘南芋1号’、‘南芋9号’、‘青芋2号’和‘泰芋2号’的茎粗呈7月21日前急剧增加,之后缓慢增加的趋势,而‘泰芋1号’和‘泰芋3号’的茎粗均呈明显增加的趋势。5月6日,6个菊芋品种间的茎粗无显著差异。6月3日,‘南芋1号’和‘南芋9号’的茎粗显著大于‘泰芋2号’和‘泰芋3号’,‘青芋2号’和‘泰芋1号’的茎粗与其他品种间无显著差异。7月21日,6个菊芋品种间的茎粗也无显著差异。10月26日,‘泰芋1号’的茎粗显著高于其他品种,达19.11mm;‘泰芋2号’的茎粗显著低于‘南芋1号’、‘南芋9号’、‘泰芋1号’和‘泰芋3号’;‘青芋2号’的茎粗仅显著低于‘泰芋1号’,与其他品种间无显著差异。

由表1还可以看出:随着时间的推移,6个菊芋品种根长的变化趋势各异。除5月6日‘南芋9号’的根长显著大于‘泰芋1号’,以及10月26日‘南芋9号’的根长显著大于‘青芋2号’和‘泰芋2号’外,

表 1 海南地区种植的不同菊芋品种株高、茎粗和根长的比较 ( $\bar{X} \pm SE$ )<sup>1)</sup>Table 1 Comparison on plant height, stem diameter, and root length of different cultivars of *Helianthus tuberosus* Linn. planted in Hainan district ( $\bar{X} \pm SE$ )<sup>1)</sup>

品种 Cultivar	不同时期(MM-DD)株高/cm Plant height at different times (MM-DD)			
	05-06	06-03	07-21	10-26
南芋 1 号 Nanyu No. 1	69.23±6.70ab	117.67±3.79a	106.67±11.93a	178.60±4.93b
南芋 9 号 Nanyu No. 9	54.87±4.63b	91.00±7.55ab	99.00±8.19a	173.60±14.15b
青芋 2 号 Qingyu No. 2	56.33±4.73b	101.67±11.59ab	110.67±11.02a	122.60±5.27c
泰芋 1 号 Taiyu No. 1	56.00±7.94b	83.67±11.15b	105.00±1.73a	198.40±7.30a
泰芋 2 号 Taiyu No. 2	79.17±7.78a	109.00±9.54ab	109.00±13.00a	167.20±9.76b
泰芋 3 号 Taiyu No. 3	74.67±7.02a	102.67±17.56ab	119.00±7.55a	174.80±11.34b

  

品种 Cultivar	不同时期(MM-DD)茎粗/mm Stem diameter at different times (MM-DD)			
	05-06	06-03	07-21	10-26
南芋 1 号 Nanyu No. 1	6.38±1.36a	11.35±1.03a	15.14±4.25a	15.32±2.18b
南芋 9 号 Nanyu No. 9	5.30±0.53a	12.36±0.50a	14.32±1.68a	15.23±2.37b
青芋 2 号 Qingyu No. 2	4.50±0.78a	8.10±0.57ab	12.36±4.15a	12.30±1.23bc
泰芋 1 号 Taiyu No. 1	5.57±1.24a	8.84±1.55ab	12.28±1.71a	19.11±1.62a
泰芋 2 号 Taiyu No. 2	5.73±1.39a	7.66±0.47b	11.56±1.23a	12.05±2.55c
泰芋 3 号 Taiyu No. 3	4.23±0.49a	7.73±3.32b	10.94±1.09a	14.84±2.58b

  

品种 Cultivar	不同时期(MM-DD)根长/cm Root length at different times (MM-DD)			
	05-06	06-03	07-21	10-26
南芋 1 号 Nanyu No. 1	15.33±3.51ab	19.67±3.79a	19.00±4.58a	19.17±1.17ab
南芋 9 号 Nanyu No. 9	22.67±4.51a	16.00±1.00a	17.33±2.31a	20.86±2.19a
青芋 2 号 Qingyu No. 2	15.50±0.87ab	15.00±1.00a	12.00±4.58a	15.86±3.63b
泰芋 1 号 Taiyu No. 1	14.00±1.73b	16.00±2.00a	20.33±7.57a	18.00±2.16ab
泰芋 2 号 Taiyu No. 2	17.00±1.00ab	15.00±3.00a	14.00±2.65a	16.57±3.05b
泰芋 3 号 Taiyu No. 3	18.00±2.65ab	17.67±9.29a	20.00±4.58a	18.29±1.50ab

<sup>1)</sup> 同列中不同小写字母表示差异显著 ( $P \leq 0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ( $P \leq 0.05$ ).

各时期 6 个品种间的根长均无显著差异。

2.1.2 不同部位干质量的比较 海南地区种植的不同菊芋品种不同部位干质量的比较结果见表 2。由表 2 可以看出:6 个菊芋品种的单株地上部干质量、单株根干质量和单株总干质量总体上呈逐渐升高的趋势。5 月 6 日,6 个菊芋品种单株地上部干质量均占单株总干质量的 80% 以上。10 月 26 日,6 个菊芋品种单株地上部干质量占单株总干质量的比例明显下降;除‘泰芋 2 号’外,其他 5 个品种的单株块茎干质量均占单株总干质量的 30% 以上;6 个菊芋品种单株根干质量占单株总干质量的 7%~22%。10 月 26 日,‘南芋 1 号’的单株地上部干质量、单株块茎干质量和单株总干质量均最高,分别为 361.45、185.48 和 593.13 g;‘泰芋 3 号’的单株地上部干质量、单株块茎干质量和单株总干质量也较高,分别为 210.25、184.73 和 455.03 g。

2.1.3 块茎和茎干的产量及其相关指标的比较 海南地区种植的不同菊芋品种块茎和茎干的产量及其相

关指标见表 3。由表 3 可以看出:6 个菊芋品种中,‘南芋 9 号’块茎的产量、单株鲜质量和含水率均最高,分别为  $38.77 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、1 410.00 g 和 88.50%,且块茎的产量和单株鲜质量显著高于其他品种。‘南芋 1 号’和‘泰芋 1 号’块茎的产量次之,分别为 26.85 和 25.63  $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;‘泰芋 3 号’和‘青芋 2 号’块茎的产量较低,分别为 21.89 和 20.13  $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;‘泰芋 2 号’块茎的产量最低,为 14.03  $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,显著低于其他品种。6 个菊芋品种间块茎的含水率均无显著差异。

由表 3 还可以看出:6 个菊芋品种中,‘南芋 9 号’茎干的产量、单株鲜质量和含水率均最高,分别为  $21.91 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、796.85 g 和 84.02%,且茎干的产量和单株鲜质量显著高于其他品种。‘泰芋 1 号’、‘南芋 1 号’和‘泰芋 3 号’茎干的产量次之,分别为 15.43、14.82 和 13.46  $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;‘泰芋 2 号’和‘青芋 2 号’茎干的产量较低,分别为 6.80 和 6.16  $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,显著低于其他品种。6 个菊芋品种间茎干的含水率均无显著差异。



表2 海南地区种植的不同菊芋品种不同部位干质量的比较 ( $\bar{X} \pm SE$ )<sup>1)</sup>Table 2 Comparison on dry weight of different parts of different cultivars of *Helianthus tuberosus* Linn. planted in Hainan district ( $\bar{X} \pm SE$ )<sup>1)</sup>

品种 <sup>2)</sup> Cultivar <sup>2)</sup>	不同时期 (MM-DD) 单株地上部干质量/g Dry weight of above-ground part per plant at different times (MM-DD)				不同时期 (MM-DD) 单株根干质量/g Dry weight of root per plant at different times (MM-DD)			
	05-06	06-03	07-21	10-26	05-06	06-03	07-21	10-26
	N1	30.65±12.89ab	149.36±3.05a	171.41±3.78c	361.45±28.28a	5.75±0.16a	16.97±2.89ab	33.48±5.64cd
N9	16.71±4.30b	65.27±0.08cd	85.57±6.72d	201.83±46.31b	2.63±0.17a	14.69±3.57ab	24.46±5.12d	52.85±8.19bc
Q2	16.03±3.80b	55.72±19.15d	175.10±20.21c	184.82±25.92b	3.32±1.50a	23.15±5.50a	51.63±8.46bc	84.75±14.34a
T1	29.23±2.41ab	79.68±11.24bcd	172.06±0.48c	203.45±47.88b	5.91±1.08a	10.19±3.06b	33.04±5.55cd	71.25±6.77ab
T2	41.02±3.95a	96.08±1.99bc	234.34±5.20b	217.63±41.89b	6.43±1.66a	7.83±1.46b	89.06±14.60a	54.94±7.74bc
T3	33.63±8.46ab	106.26±6.88b	276.65±9.67a	210.25±32.68b	5.60±4.78a	14.34±2.44ab	62.05±9.74b	60.05±2.61bc

  

品种 <sup>2)</sup> Cultivar <sup>2)</sup>	单株块茎干质量 (MM-DD)/g Dry weight of tuber per plant (MM-DD)		不同时期 (MM-DD) 单株总干质量/g Total dry weight per plant at different times (MM-DD)			
	10-26		05-06	06-03	07-21	10-26
	N1	185.48±33.17a		36.47±13.01ab	166.33±2.97a	204.89±6.84b
N9	162.15±40.57ab		19.34±4.40b	79.96±3.65c	110.03±8.77c	416.83±45.73b
Q2	131.76±19.86b		19.35±5.09b	78.87±13.65c	226.73±17.98b	401.33±57.49b
T1	118.35±22.46b		35.14±3.49ab	89.87±13.59bc	205.10±1.84b	393.05±68.14b
T2	64.28±28.85c		47.45±5.61a	103.91±0.54bc	323.39±19.80a	336.85±51.91b
T3	184.73±14.57a		39.23±13.24ab	120.60±5.06b	338.70±0.66a	455.03±69.56ab

<sup>1)</sup> 同列中不同小写字母表示差异显著 ( $P \leq 0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ( $P \leq 0.05$ ).

<sup>2)</sup> N1: ‘南芋1号’ ‘Nanyu No. 1’; N9: ‘南芋9号’ ‘Nanyu No. 9’; Q2: ‘青芋2号’ ‘Qingyu No. 2’; T1: ‘泰芋1号’ ‘Taiyu No. 1’; T2: ‘泰芋2号’ ‘Taiyu No. 2’; T3: ‘泰芋3号’ ‘Taiyu No. 3’.

表3 海南地区种植的不同菊芋品种块茎和茎干的产量及其相关指标的比较 (10月26日) ( $\bar{X} \pm SE$ )<sup>1)</sup>Table 3 Comparison on tuber and stem yields and their related indexes of different cultivars of *Helianthus tuberosus* Linn. planted in Hainan district (October 26) ( $\bar{X} \pm SE$ )<sup>1)</sup>

品种 Cultivar	块茎 Tuber			茎干 Stem		
	产量/t · hm <sup>-2</sup> Yield	单株鲜质量/g Fresh weight per plant	含水率/% Moisture content	产量/t · hm <sup>-2</sup> Yield	单株鲜质量/g Fresh weight per plant	含水率/% Moisture content
	南芋1号 Nanyu No. 1	26.85±4.80b	976.22±174.56b	81.00±0.54a	14.82±0.78b	539.03±28.25b
南芋9号 Nanyu No. 9	38.77±2.98a	1410.00±352.75a	88.50±0.02a	21.91±3.98a	796.85±144.68a	84.02±14.50a
青芋2号 Qingyu No. 2	20.13±3.03bc	732.00±110.34bc	82.00±0.09a	6.16±3.53c	224.15±128.19c	82.00±1.25a
泰芋1号 Taiyu No. 1	25.63±4.86b	931.93±176.83b	87.30±0.00a	15.43±1.96b	561.09±71.47b	78.01±1.37a
泰芋2号 Taiyu No. 2	14.03±2.41c	510.12±228.97c	87.40±19.14a	6.80±0.43c	247.27±15.74c	80.12±3.01a
泰芋3号 Taiyu No. 3	21.89±1.73bc	796.24±62.82bc	76.80±0.01a	13.46±2.53b	489.55±84.75b	79.00±2.10a

<sup>1)</sup> 同列中不同小写字母表示差异显著 ( $P \leq 0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ( $P \leq 0.05$ ).

## 2.2 不同菊芋品种不同部位糖分组成的比较

2.2.1 可溶性糖含量的比较 海南地区种植的不同菊芋品种不同部位可溶性糖含量见表4。由表4可以看出:5月6日(幼苗期)、6月3日(根茎形成期)和7月21日(开花期),6个菊芋品种茎干中可溶性糖含量均高于叶片;10月26日(成熟期),6个菊芋品种块茎中可溶性糖含量均最高,明显高于叶片和茎干。随着时间的推移,6个菊芋品种叶片中可溶性糖含量的变幅相对较小,而茎干中可溶性糖含量则总体上呈逐渐降低的趋势。10月26日,‘南芋9号’叶片中可溶性糖含量最高,为195.40 mg · g<sup>-1</sup>,显著高于

其他品种;‘泰芋1号’茎干中可溶性糖含量最高,为316.10 mg · g<sup>-1</sup>;‘南芋1号’、‘南芋9号’、‘泰芋1号’和‘泰芋2号’块茎中可溶性糖含量较高,显著高于‘青芋2号’和‘泰芋3号’。

2.2.2 还原糖含量的比较 海南地区种植的不同菊芋品种不同部位还原糖含量见表5。由表5还可以看出:随着时间的推移,除‘泰芋3号’叶片中还原糖含量在整个生长过程中变幅较小外,其他5个菊芋品种叶片中还原糖含量均在5月6日最高,之后迅速降低;而6个菊芋品种茎干中还原糖含量的变化趋势各异。10月26日,6个菊芋品种间叶片中还原糖含量差

表 4 海南地区种植的不同菊芋品种不同部位可溶性糖含量的比较<sup>1)</sup>

Table 4 Comparison of soluble sugar content in different parts of different cultivars of *Helianthus tuberosus* Linn. planted in Hainan district ( $\bar{X} \pm SE$ )<sup>1)</sup>

品种 Cultivar	不同时期 (MM-DD) 叶片中可溶性糖含量/mg · g <sup>-1</sup> Soluble sugar content in leaf at different times (MM-DD)			
	05-06	06-03	07-21	10-26
南芋 1 号 Nanyu No. 1	179.94±14.84a	122.02±5.15d	175.84±5.02a	144.55±2.82c
南芋 9 号 Nanyu No. 9	153.82±13.62ab	189.55±9.13a	128.41±1.95b	195.40±5.57a
青芋 2 号 Qingyu No. 2	156.82±16.73ab	150.85±3.09c	123.26±6.75b	146.08±4.53c
泰芋 1 号 Taiyu No. 1	177.98±12.13a	154.79±2.85c	140.17±2.39b	174.43±1.88b
泰芋 2 号 Taiyu No. 2	141.00±13.80b	160.32±2.38c	135.06±2.33b	144.54±2.48c
泰芋 3 号 Taiyu No. 3	160.20±3.76ab	175.88±2.79b	132.85±22.18b	154.25±1.87c

  

品种 Cultivar	不同时期 (MM-DD) 茎干中可溶性糖含量/mg · g <sup>-1</sup> Soluble sugar content in stem at different times (MM-DD)				块茎中可溶性糖含量 (MM-DD)/mg · g <sup>-1</sup> Soluble sugar content in tuber (MM-DD)
	05-06	06-03	07-21	10-26	10-26
南芋 1 号 Nanyu No. 1	311.51±50.83bc	661.08±25.78a	219.60±60.91a	141.46±2.46b	24.87±0.30bc
南芋 9 号 Nanyu No. 9	515.47±230.03b	459.03±63.69a	369.64±63.50a	214.62±37.26ab	24.33±0.39bc
青芋 2 号 Qingyu No. 2	182.10±2.86c	430.22±119.15a	144.64±38.45a	125.06±12.50b	26.30±0.28a
泰芋 1 号 Taiyu No. 1	909.48±42.75a	562.52±37.08a	278.33±184.71a	316.10±37.16a	24.57±0.35b
泰芋 2 号 Taiyu No. 2	338.43±24.45bc	569.54±74.61a	177.24±89.07a	196.09±44.57b	27.04±0.37a
泰芋 3 号 Taiyu No. 3	276.35±52.61bc	411.31±41.63a	164.97±64.87a	145.77±6.19b	27.10±1.03a

<sup>1)</sup> 同列中不同小写字母表示差异显著 ( $P \leq 0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ( $P \leq 0.05$ ).

表 5 海南地区种植的不同菊芋品种不同部位还原糖含量的比较<sup>1)</sup>

Table 5 Comparison of reducing sugar content in different parts of different cultivars of *Helianthus tuberosus* Linn. planted in Hainan district ( $\bar{X} \pm SE$ )<sup>1)</sup>

品种 Cultivar	不同时期 (MM-DD) 叶片中还原糖含量/mg · g <sup>-1</sup> Reducing sugar content in leaf at different times (MM-DD)			
	05-06	06-03	07-21	10-26
南芋 1 号 Nanyu No. 1	47.55±4.91a	21.80±4.18a	25.43±0.44a	26.64±0.86a
南芋 9 号 Nanyu No. 9	40.07±3.59ab	26.29±1.18a	24.39±1.34a	27.13±0.75a
青芋 2 号 Qingyu No. 2	42.16±5.20a	26.44±3.86a	25.06±0.67a	25.85±0.48a
泰芋 1 号 Taiyu No. 1	44.11±6.86a	19.47±3.53a	25.79±0.77a	26.62±1.94a
泰芋 2 号 Taiyu No. 2	36.59±2.68ab	23.31±3.06a	25.30±1.30a	29.00±4.56a
泰芋 3 号 Taiyu No. 3	26.47±3.36b	26.88±2.62a	24.58±0.77a	26.16±0.07a

  

品种 Cultivar	不同时期 (MM-DD) 茎干中还原糖含量/mg · g <sup>-1</sup> Reducing sugar content in stem at different times (MM-DD)				块茎中还原糖含量 (MM-DD)/mg · g <sup>-1</sup> Reducing sugar content in tuber (MM-DD)
	05-06	06-03	07-21	10-26	10-26
南芋 1 号 Nanyu No. 1	31.03±3.32bc	60.83±0.39a	36.25±1.99b	24.27±0.09d	24.87±0.30bc
南芋 9 号 Nanyu No. 9	26.31±1.99c	43.68±2.12b	72.61±2.77a	53.99±0.95b	24.33±0.39bc
青芋 2 号 Qingyu No. 2	30.03±3.05bc	29.54±4.48c	24.89±0.70c	24.26±0.15d	26.30±0.28a
泰芋 1 号 Taiyu No. 1	40.27±2.48a	36.11±4.48bc	23.60±1.07c	68.92±0.51a	24.57±0.35b
泰芋 2 号 Taiyu No. 2	33.12±4.86abc	29.11±0.78c	23.95±0.89c	40.68±7.07c	27.04±0.37a
泰芋 3 号 Taiyu No. 3	36.31±2.64ab	27.49±2.92c	23.97±0.21c	25.02±1.54d	27.10±1.03a

<sup>1)</sup> 同列中不同小写字母表示差异显著 ( $P \leq 0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ( $P \leq 0.05$ ).

异不显著;‘泰芋 1 号’茎干中还原糖含量显著高于其他菊芋品种,达到 68.92 mg · g<sup>-1</sup>;‘青芋 2 号’、‘泰芋 2 号’和‘泰芋 3 号’块茎中还原糖含量显著高于其他 3 个菊芋品种。

2.2.3 果糖、葡萄糖和蔗糖含量的比较 海南地区种植的不同菊芋品种不同部位果糖、葡萄糖和蔗糖的

含量见表 6。由表 6 可以看出:随着时间的推移,‘南芋 9 号’和‘青芋 2 号’叶片和茎干中果糖含量总体上呈逐渐升高的趋势,‘泰芋 1 号’、‘泰芋 2 号’和‘泰芋 3 号’叶片和茎干中果糖含量均呈先降低后升高的趋势,且均于 6 月 3 日降至最低值。10 月 26 日,6 个菊芋品种间叶片中果糖含量均无显著差异;‘泰

芋2号’茎干中果糖含量最高,达 $2.69 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,且除‘泰芋2号’茎干中果糖含量显著高于‘泰芋3号’外,6个菊芋品种间茎干中果糖含量均无显著差异。

由表6还可以看出:随着时间的推移,除‘泰芋3号’叶片中葡萄糖含量呈先降低后升高的趋势外,其他5个菊芋品种叶片中葡萄糖含量均呈逐渐升高的趋势;而6个菊芋品种茎干中葡萄糖含量总体上呈先降低后升高的趋势,且均于6月3日降至最低值。10月26日,6个品种间叶片中葡萄糖含量均无显著差异;‘泰芋1号’茎干中葡萄糖含量最高,达 $7.77 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,显著高于其他5个菊芋品种,且这5个菊芋品种间无显著差异。

由表6还可以看出:随着时间的推移,‘南芋1号’、‘南芋9号’、‘青芋2号’和‘泰芋1号’叶片

中蔗糖含量总体上呈逐渐升高的趋势,‘泰芋2号’和‘泰芋3号’叶片中蔗糖含量均呈先降低后升高的趋势,且均于6月3日降至最低值;‘南芋1号’和‘南芋9号’茎干中蔗糖含量呈先升高后降低的趋势,‘青芋2号’、‘泰芋1号’和‘泰芋2号’茎干中蔗糖含量呈逐渐升高的趋势,‘泰芋3号’茎干中蔗糖含量呈先降低后升高的趋势。10月26日,‘南芋1号’叶片中蔗糖含量显著低于‘青芋2号’、‘泰芋1号’、‘泰芋2号’和‘泰芋3号’,但其他5个菊芋品种间差异不显著;‘泰芋1号’茎干中蔗糖含量最高,达 $1.71 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,显著高于‘南芋1号’、‘南芋9号’和‘青芋2号’。

2.2.4 蔗果三糖、蔗果四糖和蔗果五糖含量的比较  
海南地区种植的不同菊芋品种不同部位蔗果三糖、蔗果四糖和蔗果五糖的含量见表7。由表7可以看出:

表6 海南地区种植的不同菊芋品种不同部位果糖、葡萄糖和蔗糖含量的比较 ( $\bar{X} \pm SE$ )<sup>1)</sup>

Table 6 Comparison on contents of fructose, glucose, and sucrose in different parts of different cultivars of *Helianthus tuberosus* Linn. planted in Hainan district ( $\bar{X} \pm SE$ )<sup>1)</sup>

品种 <sup>2)</sup> Cultivar <sup>2)</sup>	不同时期(MM-DD)叶片中果糖含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ Fructose content in leaf at different times (MM-DD)				不同时期(MM-DD)茎干中果糖含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ Fructose content in stem at different times (MM-DD)			
	05-06	06-03	07-21	10-26	05-06	06-03	07-21	10-26
N1	0.56±0.01a	0.63±0.27a	2.60±0.01ab	2.59±0.02a	1.73±0.23ab	2.66±0.29a	2.63±0.04a	2.65±0.00ab
N9	0.77±0.14a	0.95±0.02a	2.58±0.05ab	2.62±0.00a	1.48±0.10ab	1.63±0.58ab	2.64±0.04a	2.64±0.02ab
Q2	0.55±0.01a	0.80±0.27a	2.59±0.01ab	2.64±0.02a	1.30±0.38b	1.55±0.51ab	2.60±0.07a	2.66±0.01ab
T1	0.98±0.23a	0.64±0.25a	2.63±0.03a	2.67±0.04a	2.59±0.66a	1.96±0.53ab	2.56±0.05a	2.67±0.00ab
T2	0.74±0.31a	0.67±0.26a	2.60±0.02ab	2.60±0.01a	1.90±0.56ab	1.40±0.41b	2.63±0.09a	2.69±0.00a
T3	1.77±1.42a	1.29±0.61a	2.54±0.03b	2.66±0.05a	1.77±0.24ab	1.14±0.22b	2.57±0.03a	2.62±0.03b

  

品种 <sup>2)</sup> Cultivar <sup>2)</sup>	不同时期(MM-DD)叶片中葡萄糖含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ Glucose content in leaf at different times (MM-DD)				不同时期(MM-DD)茎干中葡萄糖含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ Glucose content in stem at different times (MM-DD)			
	05-06	06-03	07-21	10-26	05-06	06-03	07-21	10-26
N1	2.11±0.13b	2.37±1.03a	7.34±0.03a	7.34±0.04a	4.59±0.91a	3.65±0.03a	7.36±0.08a	7.34±0.14b
N9	2.10±0.08b	3.57±0.02a	7.27±0.18a	7.40±0.01a	5.14±0.04a	4.27±1.14a	9.13±2.47a	7.45±0.04b
Q2	2.03±0.01b	2.99±1.03a	7.32±0.02a	7.44±0.01a	4.18±1.00a	3.70±0.19a	7.38±0.07a	7.42±0.01b
T1	2.09±0.06b	2.36±1.02a	7.38±0.02a	7.38±0.03a	5.07±0.03a	4.70±0.89a	7.98±1.28a	7.77±0.16a
T2	2.28±0.42b	2.42±1.01a	7.36±0.06a	7.39±0.09a	4.60±0.87a	4.28±0.86a	7.37±0.16a	7.43±0.21b
T3	4.54±1.65a	2.98±1.01a	7.19±0.08a	7.42±0.01a	4.63±1.86a	4.16±1.00a	7.32±0.09a	7.43±0.08b

  

品种 <sup>2)</sup> Cultivar <sup>2)</sup>	不同时期(MM-DD)叶片中蔗糖含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ Sucrose content in leaf at different times (MM-DD)				不同时期(MM-DD)茎干中蔗糖含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ Sucrose content in stem at different times (MM-DD)			
	05-06	06-03	07-21	10-26	05-06	06-03	07-21	10-26
N1	0.37±0.06a	0.45±0.19a	1.56±0.01a	1.56±0.01b	0.80±0.17a	1.78±0.06a	1.56±0.03b	1.57±0.01b
N9	0.44±0.05a	0.61±0.06a	1.55±0.04a	1.58±0.01ab	0.88±0.01a	1.37±0.75a	1.74±0.03a	1.59±0.03b
Q2	0.33±0.01a	0.53±0.15a	1.57±0.03a	1.59±0.01a	0.80±0.16a	0.80±0.15a	1.55±0.03b	1.61±0.01b
T1	0.41±0.13a	0.48±0.17a	1.57±0.01a	1.60±0.01a	0.94±0.05a	1.33±0.51a	1.54±0.03b	1.71±0.07a
T2	0.74±0.58a	0.50±0.08a	1.56±0.01a	1.59±0.01a	0.84±0.16a	1.17±0.39a	1.55±0.03b	1.64±0.06ab
T3	0.77±0.32a	0.50±0.12a	1.52±0.02a	1.60±0.02a	1.10±0.55a	0.73±0.19a	1.54±0.01b	1.62±0.01ab

<sup>1)</sup> 同列中不同小写字母表示差异显著 ( $P \leq 0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ( $P \leq 0.05$ ).

<sup>2)</sup> N1: ‘南芋1号’ ‘Nanyu No. 1’; N9: ‘南芋9号’ ‘Nanyu No. 9’; Q2: ‘青芋2号’ ‘Qingyu No. 2’; T1: ‘泰芋1号’ ‘Taiyu No. 1’; T2: ‘泰芋2号’ ‘Taiyu No. 2’; T3: ‘泰芋3号’ ‘Taiyu No. 3’.

随着时间的推移, ‘南芋 1 号’、‘南芋 9 号’、‘青芋 2 号’和‘泰芋 1 号’叶片中蔗果三糖含量呈先升高后降低再略有升高的趋势, 均于 6 月 3 日达到最高值; ‘泰芋 2 号’和‘泰芋 3 号’叶片中蔗果三糖含量总体上呈降低的趋势; ‘南芋 1 号’、‘南芋 9 号’、‘青芋 2 号’、‘泰芋 1 号’和‘泰芋 3 号’茎干中蔗果三糖含量呈先降低后略有升高的趋势, 均于 7 月 21 日降至最低值; ‘泰芋 2 号’茎干中蔗果三糖含量呈先升高后降低再略有升高的趋势。总体上看, 同一时期 6 个菊芋品种间叶片和茎干中蔗果三糖含量的差异不显著。

由表 7 也可以看出: 随着时间的推移, ‘南芋 1 号’、‘青芋 2 号’、‘泰芋 1 号’和‘泰芋 2 号’叶片中蔗果四糖含量呈逐渐升高的趋势, ‘南芋 9 号’叶

片中蔗果四糖含量呈先升高后降低再升高的趋势, ‘泰芋 3 号’叶片中蔗果四糖含量呈先降低后升高的趋势; 6 个菊芋品种茎干中蔗果四糖含量则总体上呈先降低后升高的趋势。总体上看, 同一时期 6 个菊芋品种间叶片和茎干中蔗果四糖含量的差异均不显著。

由表 7 还可以看出: 随着时间的推移, ‘南芋 1 号’和‘泰芋 3 号’叶片中蔗果五糖含量呈先降低后升高的趋势, ‘南芋 9 号’、‘青芋 2 号’和‘泰芋 2 号’叶片中蔗果五糖含量呈“升高—降低—升高”的趋势, ‘泰芋 1 号’叶片中蔗果五糖含量呈逐渐升高的趋势; ‘南芋 1 号’、‘南芋 9 号’、‘青芋 2 号’、‘泰芋 2 号’和‘泰芋 3 号’茎干中蔗果五糖含量呈先降低后略有升高的趋势, 均于 7 月 21 日降至最低值; ‘泰芋

表 7 海南地区种植的不同菊芋品种不同部位蔗果三糖、蔗果四糖和蔗果五糖含量的比较 ( $\bar{X} \pm SE$ )<sup>1)</sup>

Table 7 Comparison on contents of 1-kestose, nystose, and 1F-fructofuranosylnystose in different parts of different cultivars of *Helianthus tuberosus* Linn. planted in Hainan district ( $\bar{X} \pm SE$ )<sup>1)</sup>

品种 <sup>2)</sup> Cultivar <sup>2)</sup>	不同时期 (MM-DD) 叶片中蔗果三糖含量/mg · g <sup>-1</sup> 1-kestose content in leaf at different times (MM-DD)				不同时期 (MM-DD) 茎干中蔗果三糖含量/mg · g <sup>-1</sup> 1-kestose content in stem at different times (MM-DD)			
	05-06	06-03	07-21	10-26	05-06	06-03	07-21	10-26
N1	1.71±0.05a	2.14±0.76a	1.55±0.01a	1.59±0.01b	3.96±0.89a	3.79±0.68a	1.54±0.02a	1.60±0.01a
N9	2.03±0.31a	2.97±0.02a	1.53±0.04a	1.59±0.01b	4.55±0.25a	4.29±1.30a	1.58±0.03a	1.61±0.01a
Q2	1.69±0.01a	2.48±0.85a	1.58±0.05a	1.70±0.03a	3.99±0.43a	3.36±0.08a	1.55±0.03a	1.62±0.04a
T1	1.78±0.15a	2.10±0.76a	1.56±0.01a	1.64±0.03ab	4.51±0.17a	4.34±0.30a	1.54±0.03a	1.73±0.06a
T2	2.32±0.56a	2.17±0.71a	1.55±0.01a	1.63±0.01b	3.91±0.75a	4.57±1.42a	1.55±0.03a	1.63±0.08a
T3	6.53±6.13a	2.52±0.75a	1.52±0.02a	1.61±0.03b	4.09±1.74a	3.74±1.20a	1.55±0.02a	1.67±0.01a

  

品种 <sup>2)</sup> Cultivar <sup>2)</sup>	不同时期 (MM-DD) 叶片中蔗果四糖含量/mg · g <sup>-1</sup> Nystose content in leaf at different times (MM-DD)				不同时期 (MM-DD) 茎干中蔗果四糖含量/mg · g <sup>-1</sup> Nystose content in stem at different times (MM-DD)			
	05-06	06-03	07-21	10-26	05-06	06-03	07-21	10-26
N1	1.93±0.03a	2.18±0.95a	2.77±0.01a	2.80±0.00a	4.48±0.92a	3.89±0.43a	2.76±0.04a	2.80±0.02a
N9	2.65±1.15a	3.32±0.03a	2.73±0.07a	2.82±0.01a	5.24±0.39a	4.75±1.44a	2.83±0.09a	2.87±0.02a
Q2	1.88±0.01a	2.76±0.96a	2.79±0.05a	2.87±0.04a	3.93±0.73a	3.91±0.34a	2.77±0.05a	2.88±0.03a
T1	2.14±0.44a	2.52±0.76a	2.79±0.01a	2.89±0.07a	5.03±0.21a	4.60±1.03a	2.74±0.05a	3.10±0.16a
T2	2.36±0.69a	2.39±0.86a	2.77±0.02a	2.85±0.04a	4.48±0.78a	4.58±0.83a	2.76±0.05a	2.95±0.11a
T3	4.34±1.69a	2.75±0.86a	2.71±0.03a	2.81±0.02a	4.46±1.68a	3.85±0.87a	2.75±0.03a	2.94±0.14a

  

品种 <sup>2)</sup> Cultivar <sup>2)</sup>	不同时期 (MM-DD) 叶片中蔗果五糖含量/mg · g <sup>-1</sup> 1F-fructofuranosylnystose content in leaf at different times (MM-DD)				不同时期 (MM-DD) 茎干中蔗果五糖含量/mg · g <sup>-1</sup> 1F-fructofuranosylnystose content in stem at different times (MM-DD)			
	05-06	06-03	07-21	10-26	05-06	06-03	07-21	10-26
N1	19.25±3.61a	2.33±0.99a	2.93±0.02a	2.95±0.01b	4.74±0.93a	3.89±0.32a	2.91±0.03a	3.00±0.05a
N9	2.38±0.52b	3.61±0.17a	2.89±0.07a	2.99±0.01ab	5.45±0.37a	5.33±2.51a	2.97±0.07a	3.14±0.06a
Q2	2.08±0.11b	3.18±0.98a	2.93±0.02a	3.01±0.02ab	4.14±0.76a	3.80±0.47a	2.93±0.05a	3.11±0.05a
T1	2.10±0.11b	2.53±0.85a	2.94±0.01a	3.10±0.06ab	5.18±0.13a	6.52±1.05a	2.91±0.07a	3.31±0.26a
T2	2.11±0.08b	3.41±1.51a	2.94±0.02a	3.01±0.01ab	4.54±0.86a	4.23±0.71a	2.92±0.05a	3.11±0.08a
T3	4.41±1.33b	2.89±0.96a	2.88±0.03a	3.03±0.02a	5.80±3.80a	4.05±0.73a	2.92±0.04a	3.04±0.05a

<sup>1)</sup> 同列中不同小写字母表示差异显著 ( $P \leq 0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ( $P \leq 0.05$ ).

<sup>2)</sup> N1: ‘南芋 1 号’ ‘Nanyu No. 1’; N9: ‘南芋 9 号’ ‘Nanyu No. 9’; Q2: ‘青芋 2 号’ ‘Qingyu No. 2’; T1: ‘泰芋 1 号’ ‘Taiyu No. 1’; T2: ‘泰芋 2 号’ ‘Taiyu No. 2’; T3: ‘泰芋 3 号’ ‘Taiyu No. 3’.



1号’茎干中蔗果五糖含量呈先升高后降低再略有升高的趋势。总体上看,同一时期6个菊芋品种间叶片和茎干中蔗果五糖含量的差异不显著。

### 3 讨论和结论

#### 3.1 海南地区种植的不同菊芋品种的生长指标

通常情况下,光合作用为植物生长和发育提供了能量。生长被抑制是植物对环境胁迫最敏感和最直接的标记,包括叶片卷曲甚至颜色变黑、茎缩短变细、根长缩短、生物量减少以及衰老加速等<sup>[17]</sup>。而干物质的积累是植物储存光合作用同化产物的主要方式<sup>[18]</sup>。在菊芋生长初期其地上部干质量快速增加,之后生长中心发生转移,同化产物转移到地下部,最后以菊芋块茎的形式出现<sup>[19-21]</sup>。本研究中,在10月26日(成熟期),‘泰芋1号’株高和茎粗上显著高于其他5个供试菊芋品种;‘南芋1号’单株地上部干质量、单株块茎干质量和单株总干质量高于或显著高于其他5个供试菊芋品种;‘南芋9号’根长、块茎产量和茎干产量高于或显著高于其他5个供试菊芋品种,说明‘泰芋1号’、‘南芋1号’和‘南芋9号’在海南地区的环境适应能力较强。

菊芋干物质的积累是产量形成的物质基础,干物质的分配方向是决定块茎产量的重要因子<sup>[22]</sup>。本研究中,在5月6日(幼苗期),6个菊芋品种的单株地上部干质量占单株总干质量的比例达80%以上;在10月26日,6个菊芋品种的单株地上部干质量占单株总干质量的比例明显下降,约为45%~60%,而6个菊芋品种的单株块茎干质量总体上占单株总干质量的比例在30%以上。说明生长初期,菊芋大部分干物质被分配到植物的地上器官;生长后期,大部分干物质被分配到块茎中,与已有研究结果<sup>[18,23]</sup>一致。

#### 3.2 海南地区种植的不同菊芋品种的糖分组成

可溶性糖是植物光合产物的主要形式,包含单糖、大部分二糖和多聚果糖,其在植物体内的合成、运输和分配受植物生长发育的调控,在植物生长发育的不同时期,各组织中的可溶性糖含量会发生规律性的变化,同时还受环境因子的影响<sup>[21]</sup>。本研究中,种植于海南地区的不同菊芋品种叶片和茎干中可溶性糖积累和转运的时间存在差异,5月6日(幼苗期)至6月3日(根茎形成期),‘南芋9号’、‘泰芋2号’和‘泰芋3号’叶片中可溶性糖含量均升高,说明这

3个品种此时大部分可溶性糖还储存于叶片中;而‘南芋1号’、‘青芋2号’和‘泰芋1号’叶片中可溶性糖含量均降低,说明此时植株通过不断消耗叶片中产生的糖分为植物体生命活动提供能量。6月3日至7月21日(开花期),除‘南芋1号’叶片中可溶性糖含量升高外,其他5个菊芋品种叶片中可溶性糖含量均降低,表明此时‘南芋1号’的生长较其他5个菊芋品种旺盛。6月3日之后,‘南芋1号’、‘南芋9号’、‘青芋2号’和‘泰芋3号’茎干中可溶性糖含量总体上呈逐渐降低的趋势,推测糖分逐渐向块茎转运,可溶性糖为块茎的生长提供了大量能量;其中,7月21日至10月26日(成熟期),‘泰芋1号’和‘泰芋2号’茎干中可溶性糖含量呈升高的趋势,说明此阶段二者在储存能量。此外,7月21日至10月26日,‘南芋1号’和‘南芋9号’茎干中还原糖含量明显降低,说明还原糖为植株的生长提供了大量能量;而‘泰芋1号’和‘泰芋2号’茎干中还原糖含量明显升高,说明二者在此阶段仍处于储存能量过程。

光合作用的主要产物是糖类,通过叶片光合作用产生的磷酸丙糖,进而转变成蔗糖、果糖和葡萄糖,植株中主要以蔗糖的形式运输<sup>[16]</sup>。本研究中,‘南芋1号’、‘南芋9号’和‘青芋2号’叶片中果糖含量总体上呈逐渐升高的趋势,‘泰芋1号’、‘泰芋2号’和‘泰芋3号’叶片中果糖含量则呈现先降低后升高的趋势,均在6月3日最低,说明后3个品种在根茎形成期需要消耗更多的能量。‘南芋1号’、‘南芋9号’、‘青芋2号’、‘泰芋1号’和‘泰芋2号’叶片中蔗糖含量均呈逐渐升高的趋势,说明在整个生长期这5个菊芋品种中的蔗糖通过茎干不断向其地下部转运。5月6日至6月3日,仅‘泰芋1号’叶片中葡萄糖含量降低,‘南芋9号’和‘青芋2号’叶片中葡萄糖含量的增幅大于‘南芋1号’、‘泰芋1号’和‘泰芋2号’,说明‘南芋9号’和‘青芋2号’叶片的光合作用更强。总体上看,6个菊芋品种间叶片和茎干中果糖、葡萄糖、蔗糖、蔗果三糖、蔗果四糖和蔗果五糖的含量无显著差异。

#### 3.3 结论

通过对6个菊芋品种株高、茎粗、根长和干质量等指标的分析,认为品种‘泰芋2号’和‘泰芋3号’在幼苗期生长势强,具有较强的生长能力,表现为早熟,而品种‘泰芋1号’和‘南芋9号’在生长后期生长势强,表现为晚熟。‘南芋9号’块茎和茎干的产

量均最高,其次为‘南芋 1 号’和‘泰芋 1 号’。综合研究结果认为,‘南芋 1 号’和‘南芋 9 号’2 个菊芋品种在海南地区具有较高的生物产量和经济产量,宜在海南地区推广种植。

#### 参考文献:

- [1] 汤晓丽. 海滨锦葵盐胁迫转录组分析和抗盐基因研究[D]. 烟台: 中国科学院烟台海岸带研究所, 2016: 1-8.
- [2] 张红雪, 钟雪梅, 史振声. 海南盐渍土壤对不同耐性糯玉米自交系苗期生长发育的影响[J]. 种子, 2016, 35(5): 5-8, 12.
- [3] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第七十五卷[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 358.
- [4] 隆小华, 刘兆普, 刘玲, 等. 盐生能源植物菊芋研究进展[J]. 海洋科学进展, 2005, 23(增刊): 80-85.
- [5] 马玉明, 马世威, 马文元. 菊芋的开发利用价值[J]. 林业实用技术, 2002(3): 17-18.
- [6] 陈铭达, 刘兆普. 菊芋的加工及开发利用[J]. 中国林副特产, 2004(4): 27-29.
- [7] 胡建锋, 邱树毅. 菊芋发酵生产酒精的研究进展[J]. 酿酒科技, 2009(8): 100-104.
- [8] 刘海伟, 刘兆普, 刘玲, 等. 菊芋叶片提取物抑菌活性与化学成分的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2007, 19(3): 405-409.
- [9] 巴合提·加布克拜, 阿衣达尔, 古丽白拉, 等. 用菊芋饲养细毛羔羊的对比试验[J]. 草食家畜, 2001(3): 42, 47.
- [10] 薛崇响, 贺文明, 张睿玲. 菊芋秆资源在造纸工业的利用[J]. 中华纸业, 2007(2): 67-70.
- [11] 刘颖慧, 贾海坤, 高琼. 植物同化物分配及其模型研究综述[J]. 生态学报, 2006, 26(6): 1981-1992.
- [12] DENORROY P. The crop physiology of *Helianthus tuberosus* L.: a model orientated view[J]. Biomass and Bioenergy, 1996, 11: 11-32.
- [13] 魏凌云, 王建华, 郑晓冬. 菊粉研究的回顾与展望[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(7): 81-85.
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 194-201.
- [15] 王俊刚, 张树珍, 杨本鹏, 等. 3,5-二硝基水杨酸(DNS)法测定甘蔗茎节总糖和还原糖含量[J]. 甘蔗糖业, 2008(5): 45-49.
- [16] 李辉, 许欢欢, 赵耕毛, 等. 去花对菊芋干物质和糖分积累与分配的影响[J]. 草业学报, 2014, 23(1): 149-157.
- [17] MUNNS R. Comparative physiology of salt and water stress[J]. Plant, Cell and Environment, 2002, 25: 239-250.
- [18] SCHUBERT S, FEUERLE R. Fructan storage in tubers of Jerusalem artichoke: characterization of sink strength[J]. The New Phytologist, 1997, 136: 115-122.
- [19] SLIMESTAD R, SELJAASEN R, MEIJER K, et al. Norwegian-grown Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): morphology and content of sugars and fructo-oligosaccharides in stems and tubers[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2010, 90: 956.
- [20] 卢建武, 邱慧珍, 张文明, 等. 半干旱雨养农业区马铃薯干物质和钾素积累与分配特性[J]. 应用生态学报, 2013, 24(2): 423-430.
- [21] DAVIDSON A, KELLER F, TURGEON R. Phloem loading, plant growth form, and climate[J]. Protoplasma, 2011, 248: 153-163.
- [22] 刘颖慧, 贾海坤, 高琼. 植物同化物分配及其模型研究综述[J]. 生态学报, 2006, 26(6): 1981-1992.
- [23] GUNNARSSON I B, SVENSSON S E, JOHANSSON E, et al. Potential of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a biorefinery crop[J]. Industrial Crops and Products, 2014, 56: 231-240.

(责任编辑: 张明霞)

## 《植物资源与环境学报》2017 年审稿专家名单

《植物资源与环境学报》2017 年审稿专家名单如下(按姓氏的汉语拼音排序):

蔡霞 陈慧玲 陈志伟 程栋梁 程虎印 戴传超 邓衍明 董存柱 冯建孟 冯守千 高南 郭海林  
 郭晓思 郝成元 胡光万 黄苏珍 贾晓东 金久宁 靳红梅 李新国 李亚 李永丰 梁呈元 刘金福  
 刘鹏 刘启新 刘旭 刘银泉 刘占德 隆小华 卢传礼 陆长梅 吕金印 马永鹏 缪绅裕 闵安民  
 欧祖兰 彭东辉 齐国辉 阮成江 单宇 宋希强 苏仕林 隋娜 孙宪芝 孙翊 汤华 唐晓清  
 陶玲 汪庆 王长彪 王光华 王建林 王金彦 王康才 王鹏 王永章 吴承祯 吴甘霖 吴统贵  
 徐迎春 徐增莱 杨途熙 尹增芳 於虹 臧德奎 张大勇 张冬梅 张光富 张国防 张开明 张乐华  
 张敕 张荣京 张小平 张志明 张重义

本刊对各位审稿专家的支持表示诚挚的感谢!