

张文娥,潘学军. 不同生育期芭蕉芋微量元素的吸收积累与转运分配特征[J]. 江苏农业科学,2016,44(7):262-265.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.07.074

# 不同生育期芭蕉芋微量元素的吸收积累与转运分配特征

张文娥<sup>1</sup>, 潘学军<sup>1,2</sup>

(1. 贵州大学农学院, 贵州贵阳 550025; 2. 贵州省果树工程技术研究中心, 贵州贵阳 550025)

**摘要:**以 3 个芭蕉芋栽培品种为试验材料,研究 2 个生育时期(发棵结芋期、子芋完熟期)芭蕉芋各器官矿质微量元素含量、积累、分配规律。结果表明:在发棵结芋期,3 个芭蕉芋品种平均每株累积吸收量表现为锰(Mn)、铁(Fe) > 锌(Zn) > 硼(B) > 铜(Cu),紫叶红花芋、兴芋-1 的茎、叶中 Cu、Zn 含量较高,Fe 以根、根茎内含量最高,Mn、B 主要分布在叶、根茎内,而兴芋-2 根中 Cu 含量最高,Zn、Mn 在各器官的积累相对均衡,B 在根茎中积累量较高;在子芋完熟期,芭蕉芋单株积累量表现为 Fe > Mn > B > Zn > Cu,Cu、Zn 在各器官中的含量相当,Fe 以根系中含量较高,Mn、B 在叶中含量较高,兴芋-1 在根茎中的微量元素含量、积累量明显高于其他 2 个品种。总体看出,芭蕉芋根茎中 Cu 含量明显高于其他粮食作物,是一种优良的高 Cu 含量食品原料。

**关键词:**芭蕉芋;微量元素;积累;转运;分配

**中图分类号:** S632.301 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)07-0262-04

芭蕉芋(*Canna edulis* Ker)作为一种经济作物广泛种植于南美、泰国、越南等热带、亚热带地区<sup>[1]</sup>,于 20 世纪 20 年代传入我国,现广泛种植于我国南方各省(市)<sup>[2]</sup>。贵州省是我国芭蕉芋的主产区,近年来,随着芭蕉芋淀粉产品的不断开发,种植面积连年扩大<sup>[3]</sup>。据报道,芭蕉芋根茎富含淀粉,干根茎中含量高达 70%~80%<sup>[4]</sup>,且其淀粉颗粒大、黏度高<sup>[5]</sup>,支链淀粉含量高,用其制成的粉丝比其他粉丝口感好,更易于人体消化,深受大众喜爱<sup>[1]</sup>。同时,芭蕉芋还含有丰富的维生素、氨基酸及钾、镁、铁、锌、钙等矿物质<sup>[6]</sup>,是人体摄入微量元素的重要来源之一。此外,其副产品中还含有丰富的可溶性膳食纤维、果胶等物质,为功能食品的研究、开发提供了新来源<sup>[7-8]</sup>。除了根茎直接或间接作为原料被利用外,芭蕉芋地上部分的茎、叶可通过饲料工业而进入食物链,也是重要的食物源。因此,芭蕉芋是集粮食、能源、饲料于一体的多用途作物,开发潜力极大<sup>[9]</sup>。

目前,国内外学者在高淀粉作物(如小麦、玉米、甘薯等)矿质营养的积累、运转方面开展了大量研究工作<sup>[10-12]</sup>,但对芭蕉芋的研究甚少,仅见芭蕉芋大量元素累积与分配特征方面的研究报道<sup>[13]</sup>,而对微量元素的积累、分配特征方面的研究在国内外尚未见报道。铜(Cu)、铁(Fe)、锌(Zn)、锰(Mn)、硼(B)等微量元素作为维持人体健康必不可少的营养元素<sup>[14]</sup>,若缺乏会导致贫血、心脏病、免疫力降低、生长缓慢等多种身体问题或疾病<sup>[15]</sup>。研究表明,目前全球有 10 亿多人口正面临着由于矿质元素缺乏所导致的“潜在饥饿”<sup>[16]</sup>。

世界上 66%~80% 的人口可能缺铁,30% 的人口缺锌<sup>[17]</sup>,锌、铁等微量元素摄入的不足已成为影响人体健康、社会发展的重要问题。食用富含矿质元素的食物或在食物中添加矿物质元素进行食物强化是解决矿质元素缺乏的常用方法,而开发利用高微量元素含量的功能型食品,或通过遗传改良提高微量元素含量是最为经济有效的方法<sup>[10]</sup>。本研究以当前国内主栽的 3 个芭蕉芋品种为试验材料,系统研究不同品种芭蕉芋 Fe、Mn、Zn、Cu、B 5 种微量元素的积累、运转规律,以期为提高微量元素含量的功能型食品原料的开发利用提供依据,并为改善芭蕉芋根茎微量营养品质的农业管理措施提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试的 3 个芭蕉芋品种分别为紫叶红花芋(*C. edulis* cv. PLRF)、兴芋-1(*C. edulis* cv. Xingyu-1)、兴芋-2(*C. edulis* cv. Xingyu-2),试验材料均取自贵州省兴义市。于 2010 年 3 月底选择发育健壮、无病虫害感染的种球,按株行距 30 cm × 50 cm 的密度种植于苗圃内,常规管理。待幼苗长到 5 张真叶时,选择生长一致、发育良好的幼苗移至上口径 45 cm、高 30 cm 的塑料盆内,盆内装 20 kg 风干田园土。供试土壤为黄壤土,pH 值 8.1、有机质含量 46.5 g/kg、全氮含量 1.05 g/kg、全磷含量 0.74 g/kg、速效磷含量 3.8 mg/kg、全钾含量 5.64 g/kg、速效钾含量 132.5 mg/kg。用于发棵结芋期研究的材料每盆移植 2 株;用于子芋完熟期研究的材料每盆移植 1 株,每个处理 6 次重复。移栽后遮阴,缓苗后移入温室内进行管理。

### 1.2 样品采集与测试方法

试验于 2010 年 3 月中旬至 2011 年 3 月在贵州大学喀斯特环境与地质灾害重点实验室、贵州大学果树工程技术研究中心进行。于发棵结芋期(8 月上旬)、子芋完熟期(10 月中

收稿日期:2015-06-23

基金项目:贵州省自然科学基金(编号:黔科合 J 字[2014]2061 号)。  
作者简介:张文娥(1976—),女,山东沂水人,博士,副教授,主要从事园艺植物资源评价与利用方面的研究工作。E-mail:agr.wezhang@gzu.edu.cn。

旬)取样,取样及样品处理方法与张文娥等方法<sup>[13]</sup>相同,即以株为单位,整株采样,采完后用不锈钢刀分离,再按须根、根茎、茎、叶片(叶片从叶鞘与叶片连接处分开,叶鞘留在茎部)收集装袋。105 ℃ 杀青 20 min,70 ℃ 恒温烘至恒质量,粉碎后装入密封袋备用。样品干灰化后用电感耦合等离子发射光谱仪(JCP-AES,法国 JY 公司)测定 Fe、Cu、Zn、Mn、B 含量。元素累积量计算公式为:

元素累积量 = 器官元素含量 × 器官生物量。

1.3 数据处理

试验数据表示方法为“平均值 ± 标准差”(3 次重复),采用 Excel、SAS(9.1)进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 芭蕉芋不同器官的微量元素含量

2.1.1 发棵结芋期不同器官的微量矿质元素含量 由表 1 可见,在发棵结芋期,3 个芭蕉芋品种不同器官间的微量元素分布规律存在相似之处,5 种微量元素含量由高到低分别为 Fe、Mn、Zn、B、Cu,且除 B 在根茎内含量最高外,其他 4 种微

量元素均以根系中含量最高,茎或叶中含量最低(PLRF 的 Zn 除外)。此外还可看出,Cu、Zn、Mn 基本上以兴芋-1 的平均含量最高,根茎、茎中含量显著高于其他 2 个品种,兴芋-2 的含量较低;兴芋-1 的 Fe、B 含量较低;兴芋-2 各器官 Fe 平均含量较高,紫叶红花芋的 B 含量较高。

2.1.2 子芋完熟期不同器官的微量矿质元素含量 由表 2 可见,在子芋完熟期,芭蕉芋体内微量元素 Fe 含量最高,其次是 Mn、B、Zn、Cu,含量基本相当。此外还可看出,芭蕉芋不同器官间微量元素含量差异很大,3 个品种均以根系内 Cu、Fe、Mn 含量最高,根茎或茎内含量最低;Zn 含量则是茎、根中含量较高,根茎内最低;叶、根内 B 含量较高,根茎内含量最低。不同品种间、不同器官间微量元素平均含量略有不同,兴芋-1 的 Cu、Fe、Zn、Mn 平均含量最高,分别为 40.1、287.9、39.1、99.5 mg/kg,在根茎、根中的含量显著高于兴芋-2、PLRF(根茎中 Cu 含量除外);兴芋-2 的 Cu(33.5 mg/kg)、Fe(196.9 mg/kg)、Mn(89.2 mg/kg)、B(52.9 mg/kg)平均含量最低;紫叶红花芋的 Zn(31.9 mg/kg)平均含量最低,B 平均含量最高。

表 1 发棵结芋期不同器官的微量元素含量

器官	品种	含量(mg/kg)				
		Cu	Fe	Zn	Mn	B
根茎	PLRF	19.0 ± 1.6b	113.4 ± 10.4a	32.2 ± 3.8b	86.7 ± 8.0a	41.4 ± 2.5a
	Xingyu-1	24.0 ± 1.4a	108.6 ± 9.7a	38.4 ± 0.8a	68.9 ± 2.7b	35.8 ± 1.7b
	Xingyu-2	18.3 ± 1.8b	121.1 ± 4.9a	28.7 ± 2.0b	63.2 ± 3.1b	45.2 ± 2.8a
根	PLRF	33.8 ± 2.8b	266.3 ± 25.1b	69.4 ± 2.3c	95.4 ± 2.6a	37.6 ± 2.2a
	Xingyu-1	41.5 ± 1.5a	243.7 ± 4.9b	125.0 ± 3.4a	101.5 ± 1.4a	29.7 ± 0.9b
	Xingyu-2	39.8 ± 3.0ab	369.8 ± 34.7a	106.5 ± 6.6b	88.0 ± 4.8b	26.0 ± 1.6c
茎	PLRF	17.7 ± 0.4b	7.3 ± 0.4c	55.0 ± 2.8b	41.8 ± 1.1b	24.5 ± 1.4a
	Xingyu-1	27.2 ± 1.8a	22.9 ± 1.8a	67.7 ± 1.9a	84.2 ± 2.7a	26.7 ± 1.8a
	Xingyu-2	16.2 ± 0.4b	9.0 ± 0.4b	52.1 ± 2.4b	30.8 ± 1.9b	25.1 ± 1.4a
叶	PLRF	22.4 ± 1.6a	26.2 ± 1.9a	37.0 ± 1.7a	73.3 ± 3.3b	31.7 ± 1.2a
	Xingyu-1	16.9 ± 0.5ab	11.0 ± 1.4b	28.0 ± 0.2b	116.0 ± 8.9a	19.1 ± 1.3c
	Xingyu-2	8.1 ± 0.2b	11.3 ± 1.0b	24.9 ± 1.0b	42.4 ± 1.6c	22.6 ± 1.3b

注:同一指标、同列数据后不同小写字母表示不同品种间在 5% 水平差异显著。表 2 同。

表 2 子芋完熟期不同器官的微量元素含量

器官	品种	含量(mg/kg)				
		Cu	Fe	Zn	Mn	B
根茎	PLRF	11.4 ± 0.2a	21.9 ± 2.5b	13.4 ± 0.7b	9.4 ± 0.4b	12.7 ± 0.7c
	Xingyu-1	10.2 ± 1.3ab	37.4 ± 2.1a	21.7 ± 2.2a	17.6 ± 0.1a	16.8 ± 0.9b
	Xingyu-2	9.4 ± 0.8b	16.3 ± 0.4c	8.2 ± 0.3c	7.7 ± 0.3c	18.0 ± 0.3a
根	PLRF	73.4 ± 4.6b	769.8 ± 30.4b	41.5 ± 1.2b	218.9 ± 10.2b	74.4 ± 4.3a
	Xingyu-1	89.1 ± 5.7a	1 029.2 ± 35.4a	48.9 ± 0.4a	279.4 ± 7.0a	79.9 ± 4.9a
	Xingyu-2	60.4 ± 5.3c	648.2 ± 50.1c	40.4 ± 1.9b	187.4 ± 15.1c	54.7 ± 4.8b
茎	PLRF	33.2 ± 1.7b	15.5 ± 0.7c	44.0 ± 2.0b	13.4 ± 0.6c	44.9 ± 4.7b
	Xingyu-1	29.1 ± 2.0c	26.8 ± 1.5b	42.9 ± 1.8b	24.6 ± 0.7b	45.0 ± 1.0b
	Xingyu-2	37.1 ± 0.9a	49.7 ± 2.2a	61.9 ± 4.0a	27.4 ± 2.2a	56.0 ± 3.8a
叶	PLRF	27.7 ± 2.2b	63.0 ± 3.0b	28.5 ± 2.5b	116.0 ± 4.8b	91.4 ± 2.4a
	Xingyu-1	31.9 ± 0.6a	58.0 ± 7.7b	42.9 ± 0.4a	76.3 ± 4.5c	79.3 ± 7.6b
	Xingyu-2	26.9 ± 0.5b	73.5 ± 5.9a	30.6 ± 1.7b	134.1 ± 5.1a	82.8 ± 5.8ab

2.2 芭蕉芋微量元素的积累分布特性

2.2.1 发棵结芋期微量元素的积累分布特性 由表 3 可见,本试验条件下,在发棵结芋期,紫叶红花芋、兴芋-1 对微量元素 Cu、Fe、Zn、Mn、B 的单株累积规律基本相同,均表现为

Mn 累积量最高,Fe、Zn、B 次之,Cu 累积量最少,Cu、Zn 主要积累在茎、叶部,Fe 主要在根、根茎内,Mn、B 主要分布在叶、根茎内。还可看出,与紫叶红花芋、兴芋-1 不同,兴芋-2 的 Fe 累积量最高,Mn、Zn、B 次之,Cu 累积量最少,Cu 在根茎中

积累量最多,占总积累量的 32.6%,其次是根系,占 29.3%; 51.55%、41.4%;Zn、Mn 在兴芋 2 各器官的积累相对均衡;B Fe 在兴芋 2 根系、根茎中的积累量高,分别占总积累量的 在兴芋 2 根茎中积累最高。

表 3 发棵结芋期不同器官微量元素积累和分配特性

品种	器官	积累量(mg/株)					分配率(%)				
		Cu	Fe	Zn	Mn	B	Cu	Fe	Zn	Mn	B
PLRF	根茎	0.20	1.21	0.34	0.93	0.44	15.7	33.8	12.9	22.6	23.0
	根	0.20	1.58	0.34	0.57	0.22	15.5	44.3	12.9	13.9	11.7
	茎	0.34	0.14	1.06	0.81	0.47	26.4	3.9	40.0	19.7	24.7
	叶	0.55	0.64	0.91	1.80	0.78	42.4	18.0	34.2	43.9	40.6
	总计	1.29	3.57	2.65	4.11	1.91	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Xingyu-1	根茎	0.35	1.42	0.55	1.46	0.52	23.1	36.9	17.1	26.7	31.7
	根	0.31	1.80	0.92	0.86	0.22	20.5	46.7	28.6	15.6	13.5
	茎	0.42	0.36	1.06	1.07	0.42	28.4	9.3	32.8	19.6	25.6
	叶	0.42	0.27	0.70	2.09	0.47	28.0	7.1	21.6	38.1	29.2
	总计	1.50	3.85	3.23	5.48	1.63	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Xingyu-2	根茎	0.30	2.00	0.47	1.03	0.74	32.6	41.1	20.5	36.1	44.3
	根	0.27	2.49	0.72	0.59	0.17	29.2	51.9	31.3	20.8	10.5
	茎	0.18	0.10	0.58	0.34	0.28	19.8	2.1	25.5	12.1	16.9
	叶	0.17	0.24	0.52	0.88	0.47	18.4	4.9	22.7	31.0	28.3
	总计	0.92	4.83	2.29	2.84	1.66	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

2.2.2 子芋完熟期微量元素的积累分布特性 由表 4 可知,在子芋完熟期,芭蕉芋单株积累 6.24 ~ 6.63 mg Cu,22.23 ~ 30.34 mg Fe,6.88 ~ 8.50 mg Zn,13.60 ~ 14.99 mg Mn,10.59 ~ 12.01 mg B。与苗期不同的是,成熟期芭蕉芋体内微量元素 Fe 积累量最高,其次是 Mn、B,Cu 积累量最低。根系是 Fe 积累的最主要器官,其次是叶片、根茎,紫叶红花芋、兴芋-1 根部 Fe 积累量均在 66.0% 以上,Xingyu-2 则为 56.0%;叶片、根系是 Mn 的累积中心,3 个品种中 Mn 在叶、根中的积累量分别占总积累量的 85.9% (紫叶红花芋)、

73.2% (兴芋-1)、83.1% (兴芋-2);根茎、叶片是 B 的积累分配中心,3 个品种均有 65% 以上的 B 累积在根茎、叶片中;Cu、Zn 在各器官中的积累分配相对均匀,优势器官不明显。经计算,紫叶红花芋的产量器官根茎 Cu、Fe、Zn、Mn、B 的单株积累量分别为 1.56、2.99、1.83、1.28、1.73 mg;兴芋-1 根茎中 5 种元素的单株积累量分别为 1.53、5.61、3.26、2.64、2.52 mg;兴芋-2 的单株积累量分别为 1.27、2.20、1.10、1.04、2.43 mg。可以看出,兴芋-1 的食用器官中微量元素积累量最为丰富,其次是紫叶红花芋,兴芋-2 的积累量最低。

表 4 子芋完熟期不同器官微量元素的积累和分配特性

品种	器官	积累量(mg/株)					分配率(%)				
		Cu	Fe	Zn	Mn	B	Cu	Fe	Zn	Mn	B
PLRF	根茎	1.56	2.99	1.83	1.28	1.73	23.5	12.7	26.6	9.1	14.9
	根	1.49	15.59	0.84	4.43	1.51	22.4	66.1	12.2	31.4	12.9
	茎	1.75	0.82	2.32	0.71	2.36	26.4	3.5	33.7	5.0	20.3
	叶	1.83	4.17	1.89	7.68	6.05	27.7	17.7	27.5	54.5	51.9
	合计	6.63	23.57	6.88	14.10	11.65	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Xingyu-1	根茎	1.53	5.61	3.26	2.64	2.52	24.1	18.5	38.3	19.4	23.8
	根	1.74	20.15	0.96	5.47	1.56	27.5	66.6	11.3	40.2	14.8
	茎	1.19	1.10	1.76	1.01	1.85	18.8	3.6	20.7	7.4	17.4
	叶	1.87	3.41	2.52	4.48	4.66	29.6	11.3	29.7	33.0	44.0
	合计	6.33	30.34	8.50	13.60	10.59	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Xingyu-2	根茎	1.27	2.20	1.10	1.04	2.43	20.3	9.9	15.1	6.9	20.2
	根	1.16	12.45	0.78	3.60	1.05	18.6	56.0	10.6	24.0	8.7
	茎	2.04	2.73	3.40	1.50	3.07	32.6	12.3	46.6	10.1	25.6
	叶	1.77	4.85	2.02	8.85	5.46	28.5	21.8	27.7	59.0	45.5
	合计	6.24	22.23	7.30	14.99	12.01	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

3 讨论与结论

郭晓春等研究认为,由于每种微量元素在植物生命代谢活动中发挥着各自特殊的生理功能,在植物的不同生长发育阶段,各种元素含量呈现具有各自特征的变化规律<sup>[18]</sup>。小麦对 Fe 的吸收随生育时期的递进呈双峰曲线变化,而小麦植株

内 Fe 含量则呈单峰曲线变化<sup>[19]</sup>。本研究也发现,在不同的生长发育时期,芭蕉芋体内微量元素吸收分配存在差异。在发棵结芋期,紫叶红花芋、兴芋-1 微量元素 Mn 的总吸收积累量最高,其次是 Fe、Zn、B、Cu,而兴芋-2 的 Fe 平均含量、吸收积累总量高于 Mn;在子芋完熟期,3 个芭蕉芋品种 Fe 的总吸收积累量均居各元素之首,其次是 Mn、B、Zn、Cu 的平均

含量、总积累量最低。这与微量元素的生理功能、植物的生长发育需求密切相关。

基因型差异是影响作物体内微量元素吸收和利用差异的重要原因<sup>[19]</sup>, 本研究表明, 不同芭蕉芋品种的微量元素含量、积累总量差异明显。在子芋完熟期, 兴芋-1 根茎中 Fe、Zn、Mn 含量明显高于其他 2 个品种, 3 种元素的积累量分别比紫叶红花芋高 87.6%、78.1%、106.3%, 分别比兴芋-2 高 155.0%、196.4%、153.8%; 兴芋-2 的 B 含量显著高于其他 2 个品种; 紫叶红花芋的 Cu 含量较高, 表明基因型是影响芭蕉芋微量元素含量的重要因素之一。前期研究发现, 兴芋-1 产量器官根茎的水分含量较低, 光合净产出率较高<sup>[13]</sup>, 这与钱秋平等在甘薯中得出的低干率甘薯品种的矿质营养元素含量高于高干率品种的结论<sup>[20]</sup>不一致, 说明芭蕉芋中 Fe、Zn、Mn 元素在品种间的差异不同于甘薯品种。

各生育阶段, 芭蕉芋体内 Fe 元素始终以根中含量、积累量最高, 茎中较低; Mn、B 的积累分配主要在叶片中, 这与超甜玉米的分配规律<sup>[21]</sup>基本相同, 但与小麦<sup>[19]</sup>、甘薯<sup>[22]</sup>中的 Fe 分配特征不同。在不同发育时期, 其他元素的分配中心发生转移, Cu、Zn 在发棵结芋期的优势分配器官为茎、叶, 但在子芋完熟期则全株分配较为均匀, 无明显的优势器官, 也与小麦中 Zn 的积累分配规律不同。

在子芋完熟期, 3 个芭蕉芋品种根茎内 Fe、Mn、B、Zn、Cu 的平均含量分别为 25.2、11.63、16.50、14.43、10.33 mg/kg, 与其他农作物相比<sup>[22-23]</sup>, 其 Cu 含量明显高于小麦籽粒 (7.30 mg/kg)、水稻精米 (4.36 mg/kg)、玉米籽粒 (3.24 mg/kg), 与大豆籽粒的 Cu 含量 (11.10 mg/kg) 相当。矿质营养元素含量较高的品种兴芋-1 根茎中的 Fe 平均含量为 37.4 mg/kg, 与甘薯 (38.97 mg/kg)、水稻糙米 (36.90 mg/kg)、玉米籽粒 (35.40 mg/kg) 中 Fe 含量相当, 显著高于水稻精米中的 Fe 含量 (18.60 mg/kg); 其 Zn、Mn 平均含量分别为 21.7、17.6 mg/kg, 低于小麦籽粒 (27.9、31.2 mg/kg)、大豆籽粒 (37.5、20.9 mg/kg), 但比水稻精米 (7.3、5.6 mg/kg)、玉米籽粒的含量 (19.9、5.8 mg/kg) 高。由此可见, 芭蕉芋是一种高 Cu 含量的食品原料, 而 Cu 对维持人体中枢神经系统的完整性有重要作用, 缺铜会导致心血管功能紊乱、心脏病等, 芭蕉芋可作为 Cu 缺乏症的功能型治疗食品; 兴芋-1 的 Fe、Zn、Mn 含量也较为丰富, 可以作为微量元素食品原料。

#### 参考文献:

- [1] Chansri R, Puttanlek C, Rungsadthong V, et al. Characteristics of clear noodles prepared from edible canna starches [J]. Journal of Food Science, 2005, 70(5): S337-S342.
- [2] 欧珍贵, 周正邦, 周明强. 芭蕉芋的种质资源及栽培技术研究进展 [J]. 湖北农业科学, 2012, 51(3): 441-445.
- [3] 周正邦. 贵州芭蕉芋发展现状及潜力分析 [J]. 贵州农业科学, 2009, 37(2): 136-137.
- [4] Pérez E, Lares A M, González Z. Some characteristics of sagu (*Canna edulis* Ker) and zulu (*Maranta* sp.) rhizomes [J]. Journal of

- Agricultural & Food Chemistry, 1997, 45(7): 2546-2549.
- [5] Puncha - Arnon S, Puttanlek C, Rungsadthong V, et al. Changes in physicochemical properties and morphology of *Canna* starches during rhizomal development [J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 70(2): 206-217.
- [6] 张娟, 王正武. 芭蕉芋化学成分及其变性淀粉研究进展 [J]. 食品与机械, 2008, 24(6): 144-147.
- [7] Zhang J, Wang Z W. Soluble dietary fiber from *Canna edulis* Ker by-product and its physicochemical properties [J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 92(1): 289-296.
- [8] Zhang J, Wang Z W, Yu W J et al. Pectins from *Canna edulis* Ker residue and their physicochemical characterization [J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 83(1): 210-216.
- [9] Hung P V, Morita N. Physicochemical properties and enzymatic digestibility of starch from edible canna (*Canna edulis*) grown in Vietnam [J]. Carbohydrate Polymers, 2005, 61(3): 314-321.
- [10] 张勇, 王德森, 张艳, 等. 北方冬麦区小麦品种籽粒主要矿物质元素含量分布及其相关性分析 [J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1871-1876.
- [11] 杨恒山, 张玉芹, 徐寿军, 等. 超高产春玉米干物质及养分积累与转运特征 [J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 315-323.
- [12] 吕长文, 赵勇, 唐道彬, 等. 不同类型甘薯品种氮、钾积累分配及其与产量性状的关系 [J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 475-482.
- [13] 张文娥, 王飞, 潘学军. 芭蕉芋干物质及矿质营养元素累积与分配特征研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(3): 670-676.
- [14] 罗付香, 林超文, 庞良玉, 等. 氮肥运筹对不同小麦品种籽粒微量元素含量和产量的影响 [J]. 麦类作物学报, 2011, 31(4): 695-701.
- [15] 张羽萍. 微量元素与人体健康 [J]. 江西化工, 2005, 21(1): 73-74.
- [16] Foulkes M J, Hawkesford M J, Barraclough P B, et al. Identifying traits to improve the nitrogen economy of wheat: recent advances and future prospects [J]. Field Crops Research, 2009, 114(3): 329-342.
- [17] White P J, Broadley M R. Biofortifying crops with essential mineral elements [J]. Trends in Plant Science, 2005, 10(12): 586-593.
- [18] 郭晓春, 廖蓉苏. 玫瑰枝、叶中微量元素含量的测定及动态研究 [J]. 光谱实验室, 2013, 30(4): 1897-1901.
- [19] 鲁璐, 吴瑜. 3 种微量元素对小麦生长发育及产量和品质的影响研究进展 [J]. 应用与环境生物学报, 2010, 16(3): 435-439.
- [20] 钱秋平, 陆国权, 衣申艳, 等. 不同干率甘薯铁、锌、钙、硒微量元素含量的产地差异 [J]. 浙江农业学报, 2009, 21(2): 168-172.
- [21] 林电, 程宁宁, 赵回丞, 等. 超甜玉米不同生育期各部位微量元素分配 [J]. 中国农学通报, 2007, 23(5): 450-455.
- [22] 王戈亮. 甘薯若干矿物质营养元素含量的基因型差异及其环境效应 [D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [23] 赵强. 我国主要农作物微量元素含量状况分析 [D]. 北京: 中国农业大学, 2006.