

3个木薯品种嫩茎叶中氢氰酸、总黄酮及主要营养成分含量的变化

王伟^{1,2}, 王定美^{2,3}, 李玮^{2,3}, 李光义^{2,3}, 邹雨坤^{2,3}, 麦力文², 李勤奋^{2,3,①}

(1. 海南大学热带农林学院, 海南海口 570228; 2. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海南海口 571101;
3. 农业部儋州农业环境科学观测实验站, 海南儋州 571737)

摘要:以木薯(*Manihot esculenta* Crantz)品种‘华南7号’(‘South China 7’)、‘华南9号’(‘South China 9’)和‘华南205号’(‘South China 205’)为研究对象,分别对种植后90、120、150、180和210 d的3个木薯品种嫩茎叶中氢氰酸、总黄酮及主要营养成分含量的变化进行了分析;在此基础上,明确供试3个品种嫩茎叶作为饲料的最佳采收期。结果表明:随种植后时间延长,3个品种嫩茎叶中的氢氰酸和总黄酮含量变化均呈波动趋势,其中,‘华南7号’嫩茎叶的氢氰酸含量在种植后150和210 d显著降低(分别为347.843和320.507 mg·kg⁻¹),‘华南9号’嫩茎叶的氢氰酸含量在种植后150 d最低(313.643 mg·kg⁻¹),‘华南205号’嫩茎叶的氢氰酸含量在种植后210 d最低(75.103 mg·kg⁻¹);‘华南7号’和‘华南205号’嫩茎叶的总黄酮含量在种植后120 d最高(分别为1.963%和1.917%),而‘华南9号’嫩茎叶的总黄酮含量则在种植后210 d最高(1.801%)。不同生长期3个木薯品种嫩茎叶的粗蛋白质和粗灰分含量均符合相关动物饲料的标准,而总磷含量均较低。其中,‘华南7号’嫩茎叶的粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维、粗灰分和总钙含量在种植后150 d相对较高,分别为25.273%、7.687%、23.077%、7.157%和1.660%,其无氮浸出物含量(26.823%)相对较低;‘华南9号’嫩茎叶的上述5种营养成分含量在种植后120 d相对较高,分别为28.050%、6.990%、21.557%、8.467%和1.493%,其无氮浸出物含量(24.723%)相对较低;‘华南205号’嫩茎叶的粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量在种植后120 d相对较高,分别为24.273%、7.080%和7.633%,其粗纤维(18.470%)、无氮浸出物(32.037%)和总钙(1.323%)含量相对较低。综合分析结果显示:‘华南7号’、‘华南9号’和‘华南205号’嫩茎叶作为饲料的最佳采收时间分别为种植后150、120和120 d。

关键词:木薯嫩茎叶; 种植后时间; 氢氰酸; 总黄酮; 主要营养成分

中图分类号: Q946.8; Q945.3; S632.9 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2017)01-0084-07
DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2017.01.11

Changes in contents of hydrocyanic acid, total flavonoids and main nutrient components in tender stems and leaves of three cultivars of *Manihot esculenta* WANG Wei^{1,2}, WANG Dingmei^{2,3}, LI Wei^{2,3}, LI Guangyi^{2,3}, ZOU Yukun^{2,3}, MAI Liwen², LI Qinfen^{2,3,①} (1. Institute of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou 570228, China; 2. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China; 3. Ministry of Agriculture Danzhou Scientific Observing and Experimental Station of Agro-Environment, Danzhou 571737, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2017, 26(1): 84-90

Abstract: Taking cultivar ‘South China 7’, ‘South China 9’ and ‘South China 205’ of *Manihot esculenta* Crantz as research objects, changes in contents of hydrocyanic acid, total flavonoids and main nutrient components in tender stems and leaves of three cultivars after cultivated for 90, 120, 150, 180 and 210 d were analyzed, respectively. On this basis, the optimal harvesting time of tender stems and leaves of three tested cultivars using as forages was determined. The results show that with prolonging of

收稿日期: 2016-07-18

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2016hzs1J041); 公益性行业(农业)科研专项(201203072-04)

作者简介: 王伟(1990—),男,山东临沂人,硕士研究生,主要从事农业废弃物资源化利用研究。

①通信作者 E-mail: qinfenli2005@163.com

time after cultivated, changes in contents of hydrocyanic acid and total flavonoids in tender stems and leaves of three cultivars show a fluctuation tendency, in which, hydrocyanic acid content in tender stems and leaves of 'South China 7' decreases significantly after cultivated for 150 and 210 d with 347.843 and 320.507 mg · kg⁻¹, respectively, that of 'South China 9' is the lowest after cultivated for 150 d with 313.643 mg · kg⁻¹, and that of 'South China 205' is the lowest after cultivated for 210 d with 75.103 mg · kg⁻¹; total flavonoids contents in tender stems and leaves of 'South China 7' and 'South China 205' are the highest after cultivated for 120 d with 1.963% and 1.917%, respectively, while that of 'South China 9' is the highest after cultivated for 210 d with 1.801%. Contents of crude protein and crude ash in tender stems and leaves of three cultivars of *M. esculenta* at different growth stages are in accord with related animal forage standards, while their total phosphorus contents are low. In which, contents of crude protein, crude fat, crude fiber, crude ash and total calcium in tender stems and leaves of 'South China 7' are relatively high after cultivated for 150 d with 25.273%, 7.687%, 23.077%, 7.157% and 1.660%, respectively, its nitrogen free extract content (26.823%) is relatively low. Contents of above five nutrient components in tender stems and leaves of 'South China 9' are relatively high after cultivated for 120 d with 28.050%, 6.990%, 21.557%, 8.467% and 1.493%, respectively, its nitrogen free extract content (24.723%) is relatively low. Contents of crude protein, crude fat and crude ash in tender stems and leaves of 'South China 205' are relatively high after cultivated for 120 d with 24.273%, 7.080% and 7.633%, respectively, its contents of crude fiber (18.470%), nitrogen free extract (32.037%) and total calcium (1.323%) are relatively low. The comprehensive analysis result shows that the optimal harvesting time of tender stems and leaves of 'South China 7', 'South China 9' and 'South China 205' using as forages is after cultivated for 150, 120 and 120 d, respectively.

Key words: tender stems and leaves of *Manihot esculenta* Crantz; time after cultivated; hydrocyanic acid; total flavonoids; main nutrient components

木薯 (*Manihot esculenta* Crantz) 隶属于大戟科 (Euphorbiaceae) 木薯属 (*Manihot* Mill.), 为直立灌木, 主要分布在热带亚热带地区, 因其块根淀粉含量高而被誉为“淀粉之王”, 是全世界近 10 亿人赖以生存的粮食^[1-2]。同时, 木薯还是生产生物乙醇的主要原料之一。在中华人民共和国国民经济和社会发展的“十一五”规划中, 木薯作为能源作物已经成为全国能源发展战略中的重点发展作物^[3]。近年来, 木薯在国内的种植面积不断扩大^[4]。

茎叶是木薯生产过程中的主要废弃物, 但富含蛋白质、黄酮类化合物和多种矿质元素^[5], 其营养价值与多数热带豆科 (Fabaceae) 牧草相似, 可作为饲养鸡、鱼、猪等的原料。目前国内外关于木薯茎叶作为动物饲料的研究报道均很多^[6-10]。由于不同生长期植物叶片中的成分含量有明显差异^[11-12], 因此, 为探究不同生长期木薯嫩茎叶相关成分含量的变化规律, 作者以海南产 3 个木薯品种的嫩茎叶为实验材料, 对种植后不同时间其嫩茎叶中氢氰酸、总黄酮及主要营养成分 (包括粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维、粗灰分、无氮浸出物、总钙和总磷) 含量进行比较和分析, 以期确定木薯嫩茎叶作为饲料的适宜采收时间提供实验依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试木薯品种‘华南 7 号’ (‘South China 7’)、‘华南 9 号’ (‘South China 9’) 和 ‘华南 205’ (‘South China 205’) 均于 2015 年 3 月种植于中国热带农业科学院环境与植物保护研究所儋州实验基地, 地理坐标为东经 109°29′33″、北纬 19°35′02″。该区域属热带湿润季风气候, 区内阳光充足、雨量充沛, 年均日照时数 2 000 h 以上, 年均降水量约 1 800 mm, 年均温 23.5 °C。木薯栽培方法参照 DB46/T 105—2007 标准。

1.2 方法

1.2.1 嫩茎叶的采集和保存 于种植后 90、120、150、180 和 210 d, 每个木薯品种分别随机选取长势相近的植株 5 株, 采集样株的全部嫩茎叶 (即距无连续粉灰色 10 cm 处切断获得的带叶绿色嫩茎), 将同一品种的嫩茎叶混匀, 于 4 °C 保存、备用。

1.2.2 氢氰酸含量的测定 将新鲜嫩茎叶研磨后移入蒸馏烧瓶中, 于 30 °C ~ 35 °C 条件下密封放置 6 h 后进行蒸馏; 使用浓度 7.5 mmol · L⁻¹ AgNO₃ 标准液

收集蒸馏液,同时,加入质量体积分数 40% 铁铵矾 $[\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$ 溶液作为指示剂,并用 $15 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ KSCN 溶液进行滴定,待溶液呈淡棕红色时停止滴定。重复测定 3 次,结果取平均值。

1.2.3 总黄酮含量的测定 芦丁标准曲线的绘制:精确称取于 $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘干至恒质量的芦丁标准品(购自西亚试剂公司,生产批号:F8525) 0.055 g ,加入体积分数 50% 乙醇,完全溶解后用体积分数 50% 乙醇定容至 100 mL ,摇匀后获得质量浓度 $0.55 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的芦丁标准品溶液。依次量取 1.0 、 2.0 、 4.0 、 6.0 、 8.0 和 10.0 mL 芦丁标准品溶液,采用 $\text{NaNO}_2 - \text{Al}(\text{NO}_3)_3 - \text{NaOH}$ 法^[11-15]显色后于波长 510 nm 处测定系列芦丁标准品溶液的吸光值,以体积分数 50% 乙醇为空白对照。以测得的吸光值为纵坐标(y)、芦丁浓度为横坐标(x)绘制标准曲线。

将新鲜嫩茎叶在 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘干至恒质量并粉碎,采用超声波辅助乙醇法^[16]提取总黄酮待测液;提取溶剂为体积分数 50% 乙醇,料液比($V:m$)为 $40:1$,超声功率 60 W ,提取时间 30 min ,每个样品提取 2 次;采用上述方法显色后于波长 510 nm 处测定待测液的吸光值。重复测定 3 次,结果取平均值。根据标准曲线获得的回归方程计算总黄酮含量。

1.2.4 主要营养成分含量的测定 采用 $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{K}_2\text{SO}_4 - \text{CuSO}_4 - \text{Se}$ 消煮法^{[17]285-287}测定粗蛋白质含量;采用原子吸收分光光度法(AAS法)^{[17]274-275}测定总钙含量;采用 $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{K}_2\text{O}_2$ 消煮结合钒钼黄比色法^{[17]268-270}测定总磷含量;参照 GB/T 6434—2006 中的方法测定粗纤维含量;采用 GB/T 5009.6—2003 中的方法测定粗脂肪含量;采用 GB/T 6438—2007 中的方法测定粗灰分含量。每个指标均重复测定 3 次,结果取平均值。无氮浸出物含量根据公式“无氮浸出物含量 = $100\% - (\text{水分含量} + \text{粗蛋白质含量} + \text{粗脂肪含量} + \text{粗纤维含量} + \text{粗灰分含量})$ ”计算。

1.3 数据处理及统计分析

采用 EXCEL 2010 软件进行数据整理和计算;采用 SAS 9.4 统计分析软件进行差异显著性分析。

2 结果和分析

2.1 木薯品种‘华南 7 号’嫩茎叶中氢氰酸、总黄酮及主要营养成分含量的变化

2.1.1 氢氰酸和总黄酮含量的变化 种植后不同时间

间木薯品种‘华南 7 号’嫩茎叶中氢氰酸和总黄酮含量的变化见表 1。

由表 1 可见:‘华南 7 号’嫩茎叶中的氢氰酸含量在种植后 150 和 210 d 无显著差异,且二者显著低于种植后 90、120 和 180 d ($P < 0.05$),其最大值($942.230 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)和最小值($320.507 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)分别出现在种植后 120 和 210 d。该品种嫩茎叶中的总黄酮含量最大值也出现在种植后 120 d (1.963%),略高于种植后 90 d,但却显著高于种植后 150、180 和 210 d。

表 1 种植后不同时间木薯品种‘华南 7 号’嫩茎叶中氢氰酸和总黄酮含量的变化($\bar{X} \pm \text{SD}$)¹⁾

Table 1 Changes in contents of hydrocyanic acid and total flavonoids in tender stems and leaves of *Manihot esculenta* ‘South China 7’ at different times after cultivated ($\bar{X} \pm \text{SD}$)¹⁾

种植后时间/d Time after cultivated	氢氰酸含量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Content of hydrocyanic acid	总黄酮含量/% Content of total flavonoids
90	511.933±55.718c	1.757±0.150ab
120	942.230±167.906a	1.963±0.142a
150	347.843±25.287d	1.477±0.286b
180	781.247±69.551b	1.637±0.127b
210	320.507±38.693d	1.597±0.102b

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

2.1.2 主要营养成分含量的变化 种植后不同时间木薯品种‘华南 7 号’嫩茎叶中主要营养成分含量的变化见表 2。

由表 2 可见:‘华南 7 号’嫩茎叶中的粗蛋白质含量基本上随种植后时间延长呈现先降低后升高的变化趋势,在种植后 90 和 120 d 无显著差异,且二者显著高于种植后 150、180 和 210 d,其最大值(28.477%)和最小值(18.970%)分别出现在种植后 120 和 180 d。该品种嫩茎叶中的粗脂肪含量随种植后时间延长呈现先升高后降低的变化趋势,且在种植后不同时间差异显著,其最大值(8.630%)和最小值(4.377%)分别出现在种植后 120 和 210 d。该品种嫩茎叶中的粗纤维含量随种植后时间延长也呈现先升高后降低的变化趋势,在种植后不同时间差异显著,其最大值(23.077%)和最小值(16.900%)分别出现在种植后 150 和 90 d。该品种嫩茎叶中的粗灰分含量随种植后时间延长呈现逐渐降低的变化趋势,且在种植后不同时间差异显著,其最大值(8.000%)和最小值(5.153%)分别出现在种植后 90 和 210 d。该

表 2 种植后不同时间木薯品种‘华南 7 号’嫩茎叶中主要营养成分含量的变化 ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾Table 2 Changes in contents of main nutrient components in tender stems and leaves of *Manihot esculenta* ‘South China 7’ at different times after cultivated ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

种植后时间/d Time after cultivated	含量/% Content						
	粗蛋白质 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	粗纤维 Crude fiber	粗灰分 Crude ash	无氮浸出物 Nitrogen free extract	总钙 Total calcium	总磷 Total phosphorus
90	28.390±0.332a	6.593±0.106c	16.900±0.079e	8.000±0.260a	30.397±0.517c	1.300±0.010c	0.450±0.010a
120	28.477±0.275a	8.630±0.082a	19.187±0.042d	7.673±0.083b	25.947±0.204e	1.427±0.021b	0.463±0.012a
150	25.273±0.608b	7.687±0.051b	23.077±0.086a	7.157±0.046c	26.823±0.670d	1.660±0.070a	0.343±0.006c
180	18.970±0.139d	5.507±0.070d	21.687±0.047b	6.660±0.111d	39.060±0.201b	1.473±0.040b	0.377±0.012b
210	20.127±0.435c	4.377±0.032e	21.100±0.026c	5.153±0.035e	40.577±0.405a	1.093±0.006d	0.283±0.015d

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

品种嫩茎叶中的无氮浸出物含量随种植后时间延长呈现先降低后升高的变化趋势,且在种植后不同时间差异显著,其最大值(40.577%)和最小值(25.947%)分别出现在种植后 210 和 120 d。

由表 2 还可见:‘华南 7 号’嫩茎叶中的总钙含量随种植后时间延长呈现先升高后降低的变化趋势,且在种植后 120 和 180 d 差异不显著,但在其余种植后时间差异显著,其最大值(1.660%)和最小值(1.093%)分别出现在种植后 150 和 210 d。该品种嫩茎叶中的总磷含量在种植后 90 和 120 d 无显著差异,且二者显著高于种植后 150、180 和 210 d,其最大值(0.463%)和最小值(0.283%)分别出现在种植后 120 和 210 d。

2.2 木薯品种‘华南 9 号’嫩茎叶中氢氰酸、总黄酮及主要营养成分含量的变化

2.2.1 氢氰酸和总黄酮含量的变化

种植后不同时间木薯品种‘华南 9 号’嫩茎叶中氢氰酸和总黄酮含量的变化见表 3。

由表 3 可见:‘华南 9 号’嫩茎叶中的氢氰酸含量随种植后时间延长呈现先降低后升高的变化趋势,且在种植后 210 d 显著高于其余种植后时间 ($P < 0.05$),其最大值(823.693 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)和最小值(313.643 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)分别出现在种植后 210 和 150 d。该品种嫩茎叶中的总黄酮含量整体呈现“升高—降低—升高”的变化趋势,且在种植后 120 和 210 d 显著高于其余种植后时间,但二者间差异不显著,其最大值(1.801%)和最小值(0.993%)分别出现在种植后 210 和 150 d。

2.2.2 主要营养成分含量的变化

种植后不同时间木薯品种‘华南 9 号’嫩茎叶中主要营养成分含量的变化见表 4。

表 3 种植后不同时间木薯品种‘华南 9 号’嫩茎叶中氢氰酸和总黄酮含量的变化 ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾Table 3 Changes in contents of hydrocyanic acid and total flavonoids in tender stems and leaves of *Manihot esculenta* ‘South China 9’ at different times after cultivated ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

种植后时间/d Time after cultivated	氢氰酸含量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Content of hydrocyanic acid	总黄酮含量/% Content of total flavonoids
	90	545.423±61.529b
120	539.727±156.265b	1.723±0.210a
150	313.643±12.211c	0.993±0.065c
180	410.717±63.397bc	1.433±0.050b
210	823.693±55.811a	1.801±0.131a

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

由表 4 可见:‘华南 9 号’嫩茎叶中的粗蛋白质含量基本上随种植后时间延长呈现先升高后降低的变化趋势,且在种植后不同时间大多差异显著,在种植后 180 和 210 d 间差异不显著,其最大值(28.050%)和最小值(19.237%)分别出现在种植后 120 和 180 d。该品种嫩茎叶中的粗脂肪含量在种植后不同时间大多差异显著,仅在种植后 90 和 150 d 间差异不显著,其最大值(8.387%)和最小值(6.460%)分别出现在种植后 180 和 150 d。该品种嫩茎叶中的粗纤维含量呈现“降低—升高—降低”的变化趋势,且在种植后不同时间差异显著,其最大值(24.183%)和最小值(20.800%)分别出现在种植后 150 和 210 d。该品种嫩茎叶中的粗灰分含量随种植后时间延长呈现先升高后降低的变化趋势,且在种植后 120 和 150 d 间差异不显著,但二者显著高于其余种植后时间,其最大值(8.467%)和最小值(6.660%)分别出现在种植后 120 和 210 d。该品种嫩茎叶中的无氮浸出物含量随种植后时间延长呈现先降低后升高的变化趋势,且在种植后 120 和 150 d

表4 种植后不同时间木薯品种‘华南9号’嫩茎叶中主要营养成分含量的变化($\bar{X}\pm SD$)¹⁾Table 4 Changes in contents of main nutrient components in tender stems and leaves of *Manihot esculenta* ‘South China 9’ at different times after cultivated ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

种植后时间/d Time after cultivated	含量/% Content						
	粗蛋白质 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	粗纤维 Crude fiber	粗灰分 Crude ash	无氮浸出物 Nitrogen free extract	总钙 Total calcium	总磷 Total phosphorus
90	22.957±0.272c	6.507±0.100d	22.813±0.042b	8.080±0.072b	29.813±0.326c	1.430±0.017c	0.370±0.000b
120	28.050±0.410a	6.990±0.026c	21.557±0.029c	8.467±0.181a	24.723±0.346d	1.493±0.029b	0.420±0.010a
150	26.647±0.345b	6.460±0.066d	24.183±0.051a	8.410±0.072a	24.387±0.315d	1.950±0.056a	0.407±0.006a
180	19.237±0.441d	8.387±0.111a	21.187±0.021d	7.063±0.047c	36.377±0.541b	1.243±0.006d	0.343±0.012c
210	19.267±0.100d	7.750±0.010b	20.800±0.026e	6.660±0.135d	37.627±0.191a	1.467±0.015bc	0.347±0.012c

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

间差异不显著,但二者显著低于其余种植后时间,其最大值(37.627%)和最小值(24.387%)分别出现在种植后210和150 d。

由表4还可见:‘华南9号’嫩茎叶中的总钙含量随种植后时间延长呈现“升高—降低—升高”的变化趋势,且在种植后不同时间大多差异显著,仅在种植后210 d与种植后90和120 d间差异不显著,其最大值(1.950%)和最小值(1.243%)分别出现在种植后150和180 d。该品种嫩茎叶中的总磷含量基本上随种植后时间延长呈现先升高后降低的变化趋势,且在种植后不同时间大多差异显著,仅在种植后120和150 d以及180和210 d间差异不显著,其最大值(0.420%)和最小值(0.343%)分别在种植后120 d和180 d。

2.3 木薯品种‘华南205号’嫩茎叶中氢氰酸、总黄酮及主要营养成分含量的变化

2.3.1 氢氰酸和总黄酮含量的变化 种植后不同时间木薯品种‘华南205号’嫩茎叶中氢氰酸和总黄酮含量的变化见表5。

表5 种植后不同时间木薯品种‘华南205号’嫩茎叶中氢氰酸和总黄酮含量的变化($\bar{X}\pm SD$)¹⁾Table 5 Changes in contents of hydrocyanic acid and total flavonoids in tender stems and leaves of *Manihot esculenta* ‘South China 205’ at different times after cultivated ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

种植后时间/d Time after cultivated	氢氰酸含量/mg·kg ⁻¹ Content of hydrocyanic acid	总黄酮含量/% Content of total flavonoids
90	415.290±65.278ab	1.497±0.074b
120	383.300±70.338b	1.917±0.266a
150	486.227±34.432a	1.393±0.127b
180	430.707±21.645ab	1.533±0.117b
210	75.103±11.911c	1.903±0.068a

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

由表5可见:‘华南205号’嫩茎叶中的氢氰酸含量在种植后120和210 d均较低,且二者显著低于种植后150 d ($P < 0.05$),并在种植后210 d显著低于其余种植后时间,其最大值(486.227 mg·kg⁻¹)和最小值(75.103 mg·kg⁻¹)分别出现在种植后150和210 d。该品种嫩茎叶中的总黄酮含量在种植后120和210 d显著高于种植后90、150和180 d,且在种植后90、150和180 d间差异不显著,其最大值(1.917%)和最小值(1.393%)分别出现在种植后120和150 d。

2.3.2 主要营养成分含量的变化 种植后不同时间木薯品种‘华南205号’嫩茎叶中主要营养成分含量的变化见表6。

由表6可见:‘华南205号’嫩茎叶中的粗蛋白质含量基本上随种植后时间延长呈现不断降低的变化趋势,且在种植后不同时间大多差异显著,仅在种植后150和180 d间差异不显著,其最大值(25.293%)和最小值(12.117%)分别出现在种植后90和210 d。该品种嫩茎叶中的粗脂肪含量在种植后不同时间大多差异显著,仅在种植后120和210 d间差异不显著,其最大值(7.943%)和最小值(5.517%)分别出现在种植后150和180 d。该品种嫩茎叶中的粗纤维含量在种植后不同时间也大多差异显著,仅在种植后90和120 d间差异不显著,其最大值(22.473%)和最小值(18.470%)分别出现在种植后150和120 d。该品种嫩茎叶中的粗灰分含量随种植后时间延长呈现逐渐降低的变化趋势,且在种植后不同时间差异显著,其最大值(8.147%)和最小值(5.147%)分别出现在种植后90和210 d。该品种嫩茎叶中的无氮浸出物含量随种植后时间延长呈现逐渐升高的变化趋势,且在种植后不同时间大多差异显

表 6 种植后不同时间木薯品种‘华南 205 号’嫩茎叶中主要营养成分含量的变化 ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾Table 6 Changes in contents of main nutrient components in tender stems and leaves of *Manihot esculenta* ‘South China 205’ at different times after cultivated ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

种植后时间/d Time after cultivated	含量/% Content						
	粗蛋白质 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	粗纤维 Crude fiber	粗灰分 Crude ash	无氮浸出物 Nitrogen free extract	总钙 Total calcium	总磷 Total phosphorus
90	25.293±0.257a	6.337±0.040c	18.527±0.025d	8.147±0.090a	31.870±0.413d	1.383±0.015b	0.353±0.006a
120	24.273±0.150b	7.080±0.246b	18.470±0.026d	7.633±0.076b	32.037±0.142d	1.323±0.006c	0.317±0.006b
150	19.857±0.156c	7.943±0.015a	22.473±0.060a	7.377±0.080c	32.897±0.155c	2.207±0.040a	0.287±0.021c
180	20.150±0.095c	5.517±0.057d	19.413±0.051c	6.250±0.087d	41.123±0.110b	1.377±0.029b	0.290±0.010c
210	12.117±0.375d	6.947±0.015b	20.683±0.012b	5.147±0.064e	46.540±0.436a	1.187±0.025d	0.253±0.006d

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

著, 仅在种植后 90 和 120 d 间差异不显著, 其最大值 (46.540%) 和最小值 (31.870%) 分别出现在种植后 210 和 90 d。

由表 6 还可见: ‘华南 205 号’嫩茎叶中的总钙含量随种植后时间延长呈现先升高后降低的变化趋势, 且在种植后不同时间大多差异显著, 仅在种植后 90 和 180 d 间差异不显著, 其最大值 (2.207%) 和最小值 (1.187%) 分别出现在种植后 150 和 210 d。该品种嫩茎叶中的总磷含量基本上随种植后时间延长呈现逐渐降低的变化趋势, 且在种植后不同时间大多差异显著, 仅在种植后 150 和 180 d 间差异不显著, 其最大值 (0.353%) 和最小值 (0.253%) 分别出现在种植后 90 和 210 d。

3 讨论和结论

根据 GB 13078—2001 中的规定, 猪和鸡的配合饲料中氢氰酸含量的最大允许值为 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。由于氢氰酸的大量存在明显增加了木薯嫩茎叶饲料化利用的成本, 虽然通过烘干^[10]和青贮^[18]等方式能够有效降低木薯嫩茎叶中的氢氰酸含量, 但如果选择氢氰酸含量低的时期进行采摘, 将有效降低其后期利用的成本。根据本研究结果, 以低氢氰酸含量为目的, 木薯品种‘华南 7 号’和‘华南 9 号’嫩茎叶的适宜采收时间均为种植后 150 d, ‘华南 205 号’嫩茎叶的适宜采收时间为种植后 120 d。

黄酮类化合物为木薯叶中重要的次生代谢产物之一, 含量丰富, 因其具有良好的保健功效而受到国内外研究者的关注^[19-20]。在合适时期采集木薯嫩茎叶并采用较佳的提取方法, 将大大提高其总黄酮资源的利用效率。根据本研究结果, 以高黄酮类化合物含

量为目的, 3 个木薯品种嫩茎叶的适宜采收时间均为种植后 120 d。

木薯嫩茎叶中含有丰富的蛋白质和脂肪, 是作为饲料的优质原料, 明显优于苜蓿 (*Medicago sativa* Linn.) 草粉、桑树 (*Marus alba* Linn.) 叶和槐树 (*Sophora japonica* Linn.) 叶等可饲料化的植物叶片^[21], 但其甲硫氨酸和胱氨酸等含硫氨基酸的含量却很低^[22], 因此, 若将木薯嫩茎叶作为饲料, 需要添加适量的甲硫氨酸。本研究结果表明: 3 个木薯品种嫩茎叶中的粗蛋白质含量在整个实验期间基本上均能够达到 NY/T 33—2004 中规定的鸡和鱼饲料的蛋白质含量标准 (蛋白质含量在 15% 以上)。

粗纤维具有刺激消化道和促进胃肠蠕动的作用, 在一定程度上有助于对食物的消化, 但粗纤维含量过多却会阻碍单胃动物的消化吸收, 不利于其生长。一般而言, 食草系鱼类饲料中的粗纤维含量为 12%~20%^[23-24], 鸡等单胃家禽饲料中的粗纤维含量不超过 8%^[25]。根据本研究结果, 从粗纤维含量角度考虑, 采集种植后 120 d 以前或 180 d 以后的木薯嫩茎叶作为动物饲料较佳。

饲料中的粗灰分含量能够反映饲料中矿物质的总量及其他营养成分的总体情况, 但这并不意味着粗灰分含量越高越好。方丽萍^[26]的研究结果表明: 当原料、工艺、配方、水体及环境等条件不变, 饲料中的粗灰分含量高于 16.5% 时, 鱼的生长明显减缓。本研究中, 3 个木薯品种嫩茎叶中的粗灰分含量为 5.147%~8.467%, 完全符合 GB/T 5916—2008 中规定的鸡和鱼等动物饲料的粗灰分含量标准。

无氮浸出物为能量物质, 可用于粗略评价饲料的营养价值。根据本研究结果, 从无氮浸出物含量角度考虑, 3 个木薯品种嫩茎叶的适宜采收时间均为种植

后 180 d 以后。

根据本研究结果及 GB/T 5916—2008 中规定的 3 种鸡在不同生长阶段对饲料中总钙和总磷含量的需求标准(分别为 0.6%~4.4%和 0.45%~0.60%),从总钙含量角度考虑,3 个木薯品种嫩茎叶的适宜采收时间为种植后 150 d;从总磷含量角度考虑,只有‘华南 7 号’嫩茎叶的总磷含量在种植后 90 和 120 d 符合标准,3 个木薯品种嫩茎叶中的总磷含量在其余生长期采收后作为饲料使用时均需要额外添加磷元素。

综上所述,3 个木薯品种嫩茎叶中的氢氰酸、总黄酮及主要营养成分的含量均受到生长时间的明显影响。综合考虑认为,木薯品种‘华南 7 号’、‘华南 9 号’和‘华南 205 号’嫩茎叶作为饲料的最佳采收时间分别为种植后 150、120 和 120 d。

致谢: 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所张振文、林立铭和徐缓等老师为本研究提供了很大的帮助,在此一并表示感谢!

参考文献:

- [1] 方 佳, 濮文辉, 张慧坚. 国内外木薯产业发展近况[J]. 中国农学通报, 2010, 26(16): 353-361.
- [2] LATIF S, MÜLLER J. Potential of cassava leaves in human nutrition; a review[J]. Trends in Food Science and Technology, 2015, 44: 147-158.
- [3] 张芬芬, 杨海明, 江栋材, 等. 木薯的营养价值及其在家禽生产中的应用[J]. 饲料研究, 2013(9): 38-42.
- [4] 姬 卿, 傅国华, 闵 义. 我国木薯种植的发展及未来总产预测与市场需求趋势[J]. 贵州农业科学, 2015, 43(3): 62-66.
- [5] 陶海腾, 吕飞杰, 台建祥, 等. 木薯叶营养保健功效的开发[J]. 中国农学通报, 2008, 24(6): 78-81.
- [6] 郝 倩, 曾会明, 张振文, 等. 木薯叶提取液制备及其对甲鱼生长的影响[J]. 热带作物学报, 2013, 34(8): 1598-1602.
- [7] RAVINDRAN V. Cassava leaves as animal feed: potential and limitations[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1993, 61: 141-150.
- [8] 吕飞杰, 张振文, 尹道娟, 等. 木薯叶乙醇提取物对图丽鱼和罗非鱼生长影响的研究[J]. 中国热带农业, 2015(1): 5-8.
- [9] KUBO I, MASUOKA N, NIHEI K-I, et al. Maniçoba, a quercetin-rich Amazonian dish[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19: 579-588.
- [10] FASUYI A O. Nutrient composition and processing effects on cassava leaf (*Manihot esculenta* Crantz) antinutrients[J]. Pakistan Journal of Nutrition, 2005, 4: 37-42.
- [11] 陈少美, 宋飞飞, 陈艳玉. 不同采集时间芒果各部位总黄酮含量的动态变化[J]. 植物资源与环境学报, 2014, 23(4): 102-104.
- [12] 文怀秀, 邵 赞, 王启兰, 等. 不同产地及采收时间青海产野生宁夏枸杞叶片中总黄酮含量的比较[J]. 植物资源与环境学报, 2015, 24(1): 107-109.
- [13] 郑媛媛, 李 辰, 封士兰, 等. 油橄榄叶中总黄酮含量测定方法探讨[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(2): 547-550.
- [14] 马雯芳, 邓慧连, 蔡 毅, 等. 冰糖草总黄酮含量测定及显色方法优化[J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(3): 112-115.
- [15] 柴建新, 万 茵, 付桂明, 等. 杜仲叶总黄酮含量测定方法优化[J]. 中国食品学报, 2013, 13(4): 225-230.
- [16] 王定美, 王 伟, 李勤奋, 等. 干燥温度对 2 个品种木薯嫩茎叶黄酮提取率的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2017, 34(1): 86-94.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [18] 陈建新, 刘家运, 刘翠珍, 等. 不同处理方法对木薯氢氰酸含量的影响[J]. 牧草与饲料, 1993(2): 31-32, 21.
- [19] 何翠薇. 减压法提取及测定木薯叶中芦丁的实验研究[J]. 时珍国医国药, 2011, 22(9): 2193-2194.
- [20] MILADIYAH I, DAYI F, DESRINI S. Analgesic activity of ethanolic extract of *Manihot esculenta* Crantz leaves in mice[J]. Universa Medicina, 2011, 30: 3-10.
- [21] 王巍杰, 尹 丹, 王丽萍. 树叶饲料的研究进展[J]. 农业机械, 2011(8): 117-119.
- [22] 冀凤杰, 侯冠或, 张振文, 等. 木薯叶的营养价值、抗营养因子及其在生猪生产中的应用[J]. 热带作物学报, 2015, 36(7): 1355-1360.
- [23] 崔志峰, 郝彦周, 孙卫明, 等. 纤维素在鱼类饲料中适宜含量的研究概况[J]. 华北农学报, 2006, 21(专辑): 79-81.
- [24] 郝彦周, 王瑞军, 朱卫孝. 鱼类饲料中粗纤维适宜含量的研究概述[J]. 齐鲁渔业, 2007, 24(9): 43-45.
- [25] 董平祥. 日粮纤维与鸡的营养[J]. 天津畜牧兽医, 1999, 16(1): 13.
- [26] 方丽萍. 水产饲料中粗灰分的控制[J]. 粮食与饲料工业, 2001(4): 37-38.

(责任编辑: 佟金凤)