动物营养学报 2021,33(9):5313-5323
Chinese Journal of Animal Nutrition

doi:10.3969/j.issn.1006-267x.2021.09.050

川中丘陵地区不同生长高度巨菌草的营养成分比较分析

陈冬梅[1,2*] 陈 耀[1,2] 张 龙[1,2] 韦 毅[1,2] 周材权[1,2*]

(1.西华师范大学生态研究院,南充 637002;2.西南野生动植物资源保护教育部重点实验室,南充 637002)

摘 要: 为研究川中丘陵地区不同生长高度巨菌草(*Pennisetum giganteum*)的营养成分变化规律,对生长高度分别为50~100 cm、100~150 cm、150~200 cm、200~250 cm的巨菌草取样,测定其常规营养成分、维生素、氨基酸以及单宁含量。结果显示:巨菌草的干物质、粗灰分、粗纤维、酸性洗涤纤维、酸性洗涤木质素含量随生长高度的增加极显著增加($P<0.01$),总能和中性洗涤纤维含量随生长高度的增加而显著增加($P<0.05$),粗蛋白质含量则随生长高度的增加极显著下降($P<0.01$)。150~200 cm和200~250 cm巨菌草的粗脂肪含量显著高于50~100 cm和100~150 cm巨菌草($P<0.05$)。不同生长高度的巨菌草钙、总磷含量差异不显著($P>0.05$)。巨菌草的第一限制性氨基酸为异亮氨酸,必需氨基酸、非必需氨基酸以及总氨基酸含量随巨菌草生长高度的增加而下降,以50~100 cm巨菌草最高,并且极显著高于其他生长高度巨菌草($P<0.01$);50~100 cm巨菌草的(甜味氨基酸+酸鲜味氨基酸)/苦味氨基酸值最高。必需氨基酸/非必需氨基酸、必需氨基酸/总氨基酸、必需氨基酸/粗蛋白质值随巨菌草生长高度的增加而降低。β-胡萝卜素、维生素C、维生素B_6含量随巨菌草生长高度的增加而增加。单宁含量随巨菌草生长高度的增加而降低。本研究结果表明,川中丘陵地区巨菌草与其他地区巨菌草的部分营养成分变化规律不同。单胃动物宜选择生长高度100 cm以下的巨菌草,反刍动物选择生长高度100 cm以上的巨菌草较适宜。

关键词: 巨菌草;川中丘陵地区;生长高度;营养成分;氨基酸

中图分类号:S816 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-267X(2021)09-5313-11

随着畜牧业的持续发展,以及我国耕地面积不断减少,饲料用粮的短缺日益严重[1]。寻找新型的可持续利用的饲料资源是解决我国饲料资源短缺问题的重要途径。巨菌草(*Pennisetum giganteum*)系禾本科(Poacae)狼尾草属(*Pennisetum*)多年生C4植物。因其抗性强、适应性广、生物量大、生长快以及无生物入侵风险等特点,已作为优质的菌草、牧草和生态治理材料等在我国广泛地栽培应用,并创造了巨大的经济和生态效益[2-5]。研究表明,巨菌草是一种适宜在我国热带、亚热带、温带地区生长和人工栽培的优质高产的刈割型牧草,一年可刈割多次,年鲜草产量可达200 t/hm^{2}以上,是当今世界生物量最大的饲草植物[2,4]。由于其优良的生物学特性和营养价值,目前,人们越来越关注巨菌草作为畜禽饲料的开发利用,已有牛、羊、猪、鸡、肉鸭等饲喂巨菌草的应用报道[4-5]。不同地理位置和生态环境栽培的巨菌草其生长特性和生长性能不同[6-9],且种植方式、地理环境、收获期等影响饲草的营养价值[10]。因而,不同生态环境栽培的巨菌草营养成分变化规律是否一致有

收稿日期:2021-01-31

基金项目:四川省教育厅重点项目(18ZA0480);南充市科技支撑计划项目(18GXJS0018);西华师范大学国家重点培育项目(17A009)

作者简介:陈冬梅(1971—),女,四川武胜人,副教授,硕士,研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: cdmfjm@163.com

*通信作者:陈冬梅,副教授,E-mail: cdmfjm@163.com;周材权,教授,博士生导师,E-mail: drcqzhou1@163.com

待研究。雷荷仙等[7]研究认为巨菌草最适宜在水热充沛的低海拔地区(300 m 以下)生长。近年来,巨菌草在四川盆地中部丘陵地区已有大量栽培,但对其营养成分的分析研究目前未见报道。因而,本试验主要研究川中丘陵地区巨菌草的营养成分变化规律,旨在为该地区栽培的巨菌草作为畜禽饲料推广应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验所用巨菌草于2019年3月从海南儋州引种,种植在四川省南充市西华师范大学生态研究院试验基地,基地位于四川省东北部,四川盆地中部,嘉陵江中游,东经106°4′23″,北纬30°48′43″,海拔309.3 m,属亚热带湿润季风气候;年降水量1 020.8 mm,主要集中在夏季,四季分明,雨热同期,夏季高温多雨,冬季气温普遍在0 ℃以上,温和湿润;年平均气温17.4 ℃,最高气温40.1 ℃,最低气温-2.8 ℃,年日照时间1 266.7 h;土壤以红棕紫泥土为主。

1.2 栽植方法

选取健康、无病虫害的茎秆为种节,撕去包裹腋芽的叶片,用刀切成小段,每段保留2个节,采用扦插法,下种时将准备好的种节腋芽朝上,形成45°角斜插入土壤中。插穗长度8~12 cm,按行株距60 cm×80 cm种植,1 400株/亩(1亩≈667 m^2)左右。栽培前基肥按30 kg/亩施有机肥,试验期内不作施肥管理。

1.3 试验设计

采用随机区组试验设计,刈割生长高度分别为50~100 cm(处理1)、100~150 cm(处理2)、150~200 cm(处理3)、200~250 cm(处理4),小区面积3 m×6 m=18 m^2,每个处理5个小区(重复),总计20个小区。刈割留茬2 cm。每个处理分别刈割6 kg,采集后切碎至1~2 cm,按"四分法"取得分析样本3 kg,1 kg鲜样用于测定维生素和单宁含量,2 kg鲜样在60~65 ℃的恒温鼓风烘箱中烘制,测定初水分后粉碎过40目筛(筛孔0.45 mm)制成半干样品,用于测定总能(GE)、常规营养成分和氨基酸含量。

1.4 测量指标与方法

样品GE以及初水分、干物质(DM)、粗蛋白质(CP)、粗脂肪(EE)、粗纤维(CF)、酸性洗涤纤维(ADF)、中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤木质素(ADL)、粗灰分(Ash)、钙(Ca)、总磷(TP)含量的测定参照《饲料分析及饲料质量检测技术》[11]。样品中含硫氨基酸含量用离子交换色谱法(GB/T 15399—1994)测定,其他氨基酸含量按GB/T 18246—2000附录A用氨基酸自动分析仪测定。单宁含量按GB/T 27985—2011用分光光度法测定,β-胡萝卜素、维生素C、维生素E、维生素B_1、维生素B_2、维生素B_6含量分别按照食品安全国家标准GB 5009.83—2016、GB 5009.86—2016、GB 5009.82—2016、GB 5009.84—2016、GB 5009.85—2016、GB 5009.154—2016测定。

1.5 氨基酸营养评价

根据氨基酸平衡理论和氨基酸比值系数(RC)进行不同生长高度巨菌草的氨基酸营养评价。氨基酸评分(AAS)根据联合国粮农组织与世界卫生组织(FAO/WHO)[12]提出的方法计算;RC根据朱圣陶等[13]提出的方法计算。

AAS=待测蛋白质中某必需氨基酸(EAA)含量(mg/g蛋白质)/FAO/WHO评分模式相应EAA含量(mg/g蛋白质);

RC=待测蛋白质中某EAA的AAS/待测蛋白质中各种EAA的AAS平均值。

1.6 数据统计与分析

试验数据用Excel 2016软件统计,结果用平均值±标准差表示,用SPSS 22.0软件进行单因素方差分析以及LSD法多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同生长高度巨菌草的常规营养成分分析

由表1可知,随巨菌草生长高度的增加,初水分含量减少,处理4极显著低于其他处理($P<0.01$);DM含量随巨菌草生长高度的增加极显著增加($P<0.01$);GE随巨菌草生长高度的增加显著增加($P<0.05$);CP含量随巨菌草生长高度的增加而下降,各处理间差异极显著($P<0.01$);EE含量随巨菌草生长高度的增加而增加,处理3和处理4的EE含量显著高于处理1和处理2($P<0.05$);随巨菌草生长高度的增加,Ash含量极显著增加($P<0.01$);CF、ADF、NDF、ADL含量随巨菌草生长高度的增加而增加,其中处理4的CF、ADF、ADL含量极显著高于其他处理($P<0.01$);处理4的NDF含量显著高于其他处理($P<0.05$);Ca含量各处理

间差异不显著($P>0.05$);TP 含量随巨菌草生长高度的增加而降低,但各处理间差异不显著($P>0.05$)。

表 1　不同生长高度巨菌草的常规营养成分

Table 1　Conventional nutritional components of *Pennisetum giganteum* at different growth heights　%

项目 Items	处理 1 Treatment 1	处理 2 Treatment 2	处理 3 Treatment 3	处理 4 Treatment 4
初水分 Original moisture	85.23±3.60^{Aa}	82.15±2.67^{Bb}	81.39±1.83^{Bb}	78.80±1.44^{Cc}
干物质 DM	90.11±0.20^{A}	91.73±0.21^{B}	92.90±0.10^{C}	93.96±0.09^{D}
总能 GE/(MJ/kg)	15.33±0.01^{a}	15.51±0.01^{b}	15.60±0.02^{c}	16.11±0.02^{d}
粗蛋白质 CP	10.90±0.04^{A}	9.82±0.08^{B}	9.59±0.04^{C}	9.03±0.03^{D}
粗脂肪 EE	1.09±0.07^{a}	1.12±0.03^{a}	1.49±0.11^{b}	1.48±0.08^{b}
粗灰分 Ash	5.30±0.03^{A}	5.92±0.12^{B}	7.24±0.12^{C}	10.51±0.05^{D}
粗纤维 CF	36.63±0.70^{A}	40.94±0.12^{B}	43.62±0.30^{C}	46.17±0.27^{D}
酸性洗涤纤维 ADF	29.83±0.13^{Aa}	33.90±0.85^{Bb}	35.48±0.57^{Bb}	37.99±0.39^{Cc}
中性洗涤纤维 NDF	52.85±0.71^{a}	53.98±1.05^{a}	53.61±0.32^{a}	56.87±1.38^{b}
酸性洗涤木质素 ADL	3.08±0.04^{Aa}	3.56±0.10^{Bb}	3.77±0.10^{Bb}	4.94±0.14^{Cc}
钙 Ca	0.45±0.00	0.47±0.00	0.47±0.00	0.49±0.01
总磷 TP	0.29±0.00	0.28±0.00	0.26±0.01	0.21±0.01

同行数据肩标不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),无字母或相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。表 2 和表 6 同。

In the same row, values with different capital letter superscripts indicated extremely significant difference ($P<0.01$), and with different small letter superscripts indicated significant difference ($P<0.05$), while with no letter or the same letter superscripts indicated no significant difference ($P>0.05$). The same as Table 2 and Table 6.

2.2　不同生长高度巨菌草的氨基酸含量及组成分析

2.2.1　不同生长高度巨菌草的氨基酸含量分析

由表 2 可知,EAA 含量随巨菌草生长高度的增加而呈现高—低—高—低的变化趋势,非必需氨基酸(NEAA)含量随巨菌草生长高度的增加而降低;处理 1 的 EAA、NEAA 以及总氨基酸(TAA)含量最高,且极显著高于其他处理($P<0.01$),处理 4则最低;随巨菌草生长高度的增加 EAA/NEAA 值呈高—低—高的变化趋势,EAA/CP 值呈现高—低—高—低的变化趋势,不同生长高度巨菌草的 EAA/TAA 值接近。

表 2　不同生长高度巨菌草的氨基酸含量

Table 2　Amino acid contents of Pennisetum giganteum at different growth heights　%

项目 Items	处理 1 Treatment 1	处理 2 Treatment 2	处理 3 Treatment 3	处理 4 Treatment 4
必需氨基酸 EAA				
苏氨酸 Thr	0.36±0.01^{A}	0.32±0.00^{B}	0.30±0.00^{C}	0.22±0.00^{D}
缬氨酸 Val	0.51±0.00^{Aa}	0.40±0.02^{Bc}	0.44±0.01^{Bb}	0.34±0.00^{Cd}
异亮氨酸 Ile	0.35±0.00^{A}	0.27±0.00^{C}	0.30±0.00^{B}	0.23±0.00^{D}
亮氨酸 Leu	0.67±0.00^{A}	0.53±0.00^{C}	0.60±0.02^{B}	0.47±0.01^{D}
苯丙氨酸 Phe	0.50±0.01^{Aa}	0.41±0.00^{Bc}	0.45±0.02^{Bb}	0.33±0.01^{Cd}
赖氨酸 Lys	0.39±0.01^{A}	0.35±0.00^{B}	0.33±0.00^{C}	0.23±0.00^{D}
蛋氨酸 Met	0.24±0.01	0.25±0.01	0.25±0.01	0.23±0.01
组氨酸 His	0.35±0.01^{Aa}	0.34±0.00^{ABa}	0.31±0.00^{Bb}	0.13±0.01^{Cc}
精氨酸 Arg	0.35±0.00^{Aa}	0.30±0.00^{Bb}	0.30±0.00^{Bb}	0.18±0.02^{Cc}

续表 2

项目 Items	处理 1 Treatment 1	处理 2 Treatment 2	处理 3 Treatment 3	处理 4 Treatment 4
合计 Total	3.73±0.01^{Aa}	3.18±0.04^{Bc}	3.27±0.02^{Bb}	2.36±0.03^{Cd}
非必需氨基酸 NEAA				
天冬氨酸 Asp	1.42±0.03^{Aa}	1.39±0.00^{ABa}	1.33±0.00^{Bb}	0.82±0.01^{Cd}
丝氨酸 Ser	0.46±0.01^{Aa}	0.41±0.00^{Bb}	0.39±0.00^{Bc}	0.28±0.00^{Cd}
谷氨酸 Glu	0.95±0.00^{Aa}	0.93±0.02^{Aa}	0.82±0.02^{Bb}	0.60±0.00^{Cc}
甘氨酸 Gly	0.42±0.01^{Aa}	0.38±0.00^{Bb}	0.37±0.01^{Bb}	0.26±0.00^{Cc}
丙氨酸 Ala	0.59±0.01^{Aa}	0.50±0.01^{Bc}	0.53±0.02^{Bb}	0.41±0.00^{Cd}
酪氨酸 Tyr	0.30±0.01^{Aa}	0.23±0.00^{Bc}	0.25±0.00^{Bb}	0.17±0.00^{Cd}
脯氨酸 Pro	0.49±0.02^{Aa}	0.44±0.01^{Bb}	0.45±0.01^{ABb}	0.29±0.01^{Cc}
半胱氨酸 Cys	0.14±0.01	0.15±0.03	0.13±0.01	0.13±0.01
合计 Total	4.76±0.07^{Aa}	4.42±0.00^{Bb}	4.26±0.07^{Bc}	2.96±0.00^{Cd}
总氨基酸 TAA	8.48±0.08^{Aa}	7.60±0.05^{Bb}	7.54±0.09^{Bb}	5.32±0.03^{Cc}
必需氨基酸/非必需氨基酸 EAA/NEAA	78	72	77	79
必需氨基酸/总氨基酸 EAA/TAA	44	42	43	44
必需氨基酸/粗蛋白质 EAA/CP	34	32	34	26

2.2.2 不同生长高度巨菌草的限制性氨基酸分析

对不同生长高度巨菌草的 AAS 和 RC 的分析(表 3 和表 4)表明,处理 1、处理 2、处理 3 的第一限制性氨基酸是异亮氨酸(Ile),第二限制性氨基酸是苏氨酸(Thr),第三限制性氨基酸是赖氨酸(Lys);处理 4 的第一限制性氨基酸是 Ile,Lys 含量比 Thr 含量略高,因而,第二限制性氨基酸是 Lys,第三限制性氨基酸是 Thr;各处理 Ile 的 RC 最小,故巨菌草的第一限制氨基酸是 Ile。

表 3 不同生长高度巨菌草的必需氨基酸组成及比较分析

Table 3 Composition and comparative analysis of essential amino acids of *Pennisetum giganteum* at different growth heights

mg/g prot

项目 Items	缬氨酸 Val	异亮氨酸 Ile	亮氨酸 Leu	酪氨酸+苯丙氨酸 Tyr+Phe	蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	赖氨酸 Lys	苏氨酸 Thr
处理 1 Treatment 1	4.68	3.21	6.15	7.34	3.49	3.58	3.30
处理 2 Treatment 2	4.07	2.75	5.40	6.52	4.07	3.56	3.26
处理 3 Treatment 3	4.59	3.13	6.26	7.30	3.96	3.44	3.13
处理 4 Treatment 4	3.77	2.55	5.21	5.54	4.00	2.55	3.32
FAO/WHO 模式值 FAO/WHO model value	4.00	7.00	5.50	3.50	4.00	5.00	6.00

表 4 不同生长高度巨菌草的 AAS 和 RC

Table 4 AAS and RC of *Pennisetum giganteum* at different growth heights

项目 Items	评分 Score	缬氨酸 Val	异亮氨酸 Ile	亮氨酸 Leu	酪氨酸+苯丙氨酸 Tyr+Phe	蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	赖氨酸 Lys	苏氨酸 Thr
处理 1	AAS	1.17	0.46	1.12	2.10	0.87	0.72	0.55
Treatment 1	RC	1.17	0.46	1.12	2.10	0.87	0.72	0.55
处理 2	AAS	1.02	0.39	0.98	1.86	1.02	0.71	0.54
Treatment 2	RC	1.10	0.42	1.05	2.00	1.10	0.76	0.58

续表 4

项目 Items	评分 Score	缬氨酸 Val	异亮氨酸 Ile	亮氨酸 Leu	酪氨酸+苯丙氨酸 Tyr+Phe	蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	赖氨酸 Lys	苏氨酸 Thr
处理 3	AAS	1.15	0.45	1.14	2.08	0.99	0.69	0.52
Treatment 3	RC	1.15	0.45	1.14	2.08	0.99	0.69	0.52
处理 4	AAS	0.94	0.36	0.95	1.58	1.00	0.51	0.55
Treatment 4	RC	1.12	0.43	1.13	1.88	1.19	0.61	0.65

AAS:氨基酸评分 amino acid score;RC:氨基酸比值系数 amino acid ratio coefficient。

2.2.3　不同生长高度巨菌草的呈味氨基酸分析

氨基酸的呈味特性分为甜味氨基酸[Thr、丝氨酸(Ser)、甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)、Lys、脯氨酸(Pro)]、酸鲜味氨基酸[天冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)]、苦味氨基酸(Ile、亮氨酸(Leu)、苯丙氨酸(Phe)、组氨酸(His)、精氨酸(Arg)、蛋氨酸(Met)、缬氨酸(Val)][14]。本试验结果(表 5)显示,甜味氨基酸和酸鲜味氨基酸含量随巨菌草生长高度的增加而下降,处理 1 的甜味氨基酸和酸鲜味氨基酸含量最高,处理 4 的最低;苦味氨基酸含量随巨菌草生长高度的增加而呈现低—高—低的趋势,处理 3 的苦味氨基酸含量最高;处理 1 的(甜味氨基酸+酸鲜味氨基酸)/苦味氨基酸值最高。

表 5　不同生长高度巨菌草的呈味氨基酸含量

Table 5　Contents of taste amino acids of *Pennisetum giganteum* at different growth heights　%

项目 Items	处理 1 Treatment 1	处理 2 Treatment 2	处理 3 Treatment 3	处理 4 Treatment 4
甜味氨基酸 Sweet taste amino acids (S)	2.72	2.40	2.37	1.68
酸鲜味氨基酸 Fresh taste amino acids (F)	2.36	2.32	2.15	1.43
苦味氨基酸 Bitter taste amino acids (B)	2.30	2.50	2.64	1.92
(甜味氨基酸+酸鲜味氨基酸)/苦味氨基酸 (S+F)/B	2.21	1.89	1.71	1.62

甜味氨基酸=苏氨酸+丝氨酸+甘氨酸+丙氨酸+赖氨酸+脯氨酸,酸鲜味氨基酸=天冬氨酸+谷氨酸,苦味氨基酸=缬氨酸+蛋氨酸+异亮氨酸+亮氨酸+苯丙氨酸+组氨酸+精氨酸。

Sweet taste amino acids=Thr+Ser+Gly+Ala+Lys+Pro, fresh taste amino acids=Asp+Glu, and bitter taste amino acids=Val+Met+Ile+Leu+Phe+His+Arg.

2.3　不同生长高度巨菌草的维生素及单宁含量分析

由表 6 可知,β-胡萝卜素含量随巨菌草生长高度的增加极显著增加($P<0.01$),维生素 C 含量随巨菌草生长高度的增加而增加,处理 1 显著低于其他处理($P<0.05$);维生素 B_6 含量随巨菌草生长高度的增加而增加,处理 4 显著高于其他处理($P<0.05$);维生素 B_1 含量各处理间无显著差异($P>0.05$);维生素 E、维生素 B_2 在实验室条件下未检出。单宁含量随巨菌草生长高度的增加而降低,处理 1 显著高于处理 3 和处理 4($P<0.05$),与处理 2 差异不显著($P>0.05$)。

3　讨　论

3.1　不同生长高度巨菌草的营养成分分析

3.1.1　不同生长高度巨菌草的常规营养成分分析

本试验研究表明,巨菌草的初水分含量随巨菌草生长高度的增加而减少,DM 含量则随巨菌草生长高度的增加而增加,与娄秀伟等[15]的研究结果一致。段传宏等[8]研究认为,巨菌草区别于其他禾本科狼尾草属植物,没有开花和结果的过程,淮河源地区的巨菌草 DM 含量在生长期间呈现先慢后快的增长趋势。有研究认为巨菌草青贮饲喂牛、羊的效果好于玉米和甜高粱青贮[16]。由于牧草水分含量高、DM 含量低,影响青贮品质[17]。因而,本试验中生长高度 200 cm 下的巨菌草因初水

分含量在 80%以上,不宜单独青贮,如果用于青贮,可以与 DM 含量高的物料混合后青贮;即使是生长高度 200 cm 以上的巨菌草,在单独青贮时建议进行田间预干燥调制。

表 6 不同生长高度巨菌草的维生素及单宁含量(鲜样基础)

Table 6 Vitamin and tannin contents of *Pennisetum giganteum* at different growth heights (fresh sample basis) $\times10^{-2}$ mg/g

项目 Items	处理 1 Treatment 1	处理 2 Treatment 2	处理 3 Treatment 3	处理 4 Treatment 4
β-胡萝卜素 β-carotene	1.99±0.02^{A}	4.99±0.04^{B}	9.66±0.02^{C}	14.07±0.00^{D}
维生素 C VC	15.08±0.16^{a}	16.89±0.94^{bc}	17.86±0.06^{cd}	18.29±0.28^{d}
维生素 E VE	未检出(<0.1 μg/g)	未检出	未检出	未检出
维生素 B_1 VB_1	0.02±0.00	0.02±0.00	0.03±0.01	0.02±0.00
维生素 B_2 VB_2	未检出(<0.2 μg/g)	未检出	未检出	未检出
维生素 B_6 VB_6	0.09±0.00^{a}	0.09±0.00^{a}	0.15±0.00^{b}	0.21±0.00^{c}
单宁 Tanin	496.20±8.56^{a}	490.91±3.39^{ab}	471.45±9.62^{bc}	415.31±6.18^{d}

植物的营养物质主要存在于 DM 中,因而随巨菌草生长高度的增加 GE 增加。本试验中 EE 和 Ash 含量随巨菌草生长高度的增加而增加,但陈碧成等[18]的研究认为 EE 和 Ash 含量随巨菌草生长时间的延长而下降,本试验结果与之报道不一致,可能是样品采集有别或是生态环境、田间管理等不同所致,其具体原因有待探讨。

本试验测得 CP 含量随巨菌草生长高度的增加而下降,与段传宏等[8]、娄秀伟等[15]、陈碧成等[18]、丁铭等[19]分别在淮河源地区、贵州海拔 1 386 m的关岭县、福建、新疆栽培的巨菌草 CP 含量变化规律一致。但本试验中 50~100 cm 的巨菌草 CP 含量最高为 10.90%,200~250 cm 的巨菌草 CP 含量为 9.03%,与上述研究有差异,其原因可能与样品采集有别以及不同生态环境有关。段传宏等[8]、丁铭等[19]、陈碧成等[18]按不同生长期采样,娄秀伟等[15]采样高度不同,但与本试验采集的相同生长高度的巨菌草的 CP 含量也有差异。由于不同生态环境下巨菌草的生长特性和生长性能不同[6-9],因而,不同生态环境栽培的巨菌草即使同一生长期的 CP 含量也不同。雷荷仙等[7]认为海拔高度通过影响环境因子(如温度、湿度、水分、光照等)影响植物生长,尤其是温度,其是影响植物生长的关键因素。有研究认为土壤条件也影响牧草 CP 含量,施用氮肥可以显著提高牧草 CP 含量[20]。因而,巨菌草作为畜禽饲料时对于其 CP 含量应根据实际情况采样实测。

本试验结果表明,CF、ADF、NDF 和 ADL 含量随巨菌草生长高度的增加而增加,与陈碧成等[18]、段传宏等[8]的研究结果一致,也与不同生长高度的象草[21]和王草[22]中 CF、ADF、NDF 和 ADL 含量的变化规律一致。

纤维对于单胃动物主要是非营养作用[23]。由于单胃动物不能分泌纤维素酶,对纤维的消化能力有限,纤维含量高影响其他营养物质的消化利用[24],因而,建议单胃动物应尽量选择生长高度低于 100 cm 的巨菌草。对于反刍动物(羊和牛等),因瘤胃中存在大量的微生物,对纤维消化利用率高,纤维能够供给部分能量[25-26],并且一定量的 ADF、NDF 和 ADL 有助于促进消化器官的发育[27]。因而,反刍动物比单胃动物能利用更多纤维,可选择生长高度 100 cm 以上的巨菌草。

本试验结果表明,不同生长高度巨菌草的 Ca 含量无显著差异,但 TP 含量随生长高度的增加而降低。钟小仙等[28]研究认为施肥显著影响杂交狼尾草植株 TP 和镁(Mg)含量,对 Ca 含量无显著影响。基肥施用氮磷钾复合肥,可促进植株对 Ca、Mg 的吸收,显著提高植株 TP 含量。因而不同地域或不同生长环境的巨菌草,其 Ca、TP 等矿物质的含量随生长时间推移的变化规律可能不同。

3.1.2 不同生长高度巨菌草的氨基酸组成分析

本试验中巨菌草 TAA 含量随生长高度的增加呈下降趋势,与陈碧成等[18]在福建栽培的巨菌草的研究结果一致。因氨基酸是构成蛋白质的基本原料,EAA 的含量和比值与蛋白质的营养价值密切相关[10]。FAO/WHO 提出的理想蛋白质的

EAA/TAA 值应达到 40%左右;EAA/NEAA 值应在 60%以上[12,29],并且越接近该标准,牧草蛋白质营养价值越高。本试验中,不同生长高度巨菌草的 EAA 含量丰富,氨基酸种类齐全、且 EAA/TAA 值为 42%~44%,大于 40%,EAA/NEAA 值为 70%以上,大于 60%,表明巨菌草的蛋白质营养价值较高,可以作为畜禽饲粮的优质蛋白质源。

植物原料蛋白质的主要限制性氨基酸是 Met 和 Lys[30-31]。刘远等[32]对在福建栽培的杂交狼尾草的研究发现 Met 是第一限制性氨基酸。陈碧成等[18]对在福建栽培的巨菌草的测定结果为含硫氨基酸(Met 和 Cys)含量最低,认为含硫氨基酸是巨菌草的限制性氨基酸。而本试验根据 AAS 和 RC 得出巨菌草的第一限制性氨基酸为 Ile,与上述研究结果不一致。田春丽等[20]研究发现,不同硒、锌水平配施苜蓿对其氨基酸含量和组成有显著影响,低硒、高锌可以提高 EAA 含量以及 EAA/NEAA 和 EAA/TAA 值更接近 FAO/WHO 的标准,低硒可以提高含硫氨基酸含量,高硒会显著降低含硫氨基酸含量;施用氮肥可以显著提高牧草 EAA 含量。因而,生长环境不同是否对巨菌草氨基酸合成能力有影响,有待于进一步研究探讨。

动物采食量可衡量其摄入营养物质数量,适口性影响动物的采食量[33-35]。研究认为,氨基酸会影响动物采食[36],适量 Arg 可以促进动物采食,增加 Thr 含量可以促进采食,Leu、Ile、Val 对动物采食量的影响具有拮抗作用[37]。本试验中,50~100 cm、100~150 cm、150~200 cm、200~250 cm 巨菌草的甜味氨基酸+酸鲜味氨基酸含量分别是苦味氨基酸含量的 2.21 倍、1.89 倍、1.71 倍、1.62 倍,说明不同生长高度巨菌草的口感不同,50~100 cm巨菌草的适口性较好。猪对饲料的味道比较敏感,因此,生长高度 50~100 cm 的巨菌草对于猪的适口性可能较好。

3.1.3　不同生长高度巨菌草的维生素含量分析

有研究表明,多年生牧草中维生素含量随季节性变化而变化[38]。本试验分析表明,β-胡萝卜素、维生素 C、维生素 B_6 含量随巨菌草生长高度的增加而增加,不同生长高度巨菌草的维生素 B_1 含量变化不大,说明维生素含量随巨菌草的生长高度不同变化不同。维生素 E、维生素 B_2 在实验室条件下未检出,说明巨菌草中这 2 种维生素的含量很低。

3.2　不同生长高度巨菌草的单宁含量分析

单宁具有苦涩味,是影响牧草对动物适口性的重要因素。单宁与营养物质如蛋白质、氨基酸等络合而降低营养物质的消化利用[39]。有研究认为,猪和家禽饲粮 DM 中单宁含量低于 1%为宜;反刍动物对单宁的耐受性较高,饲粮 DM 中单宁含量低于 3%或 5%为宜[40]。本试验中,50~100 cm、100~150 cm、150~200 cm、200~250 cm 巨菌草中单宁含量(鲜样基础)分别为 4.96、4.91、4.71、4.15 mg/g,即本试验中巨菌草单宁含量随巨菌草生长高度的增加而降低。谢焰锋等[40]研究认为巨菌草叶中单宁含量随生长时间的延长逐渐增多。本试验分析结果与之报道不一致,其可能原因是否与样品采集有别或生长环境有异有关,有待进一步研究。

4　结　论

巨菌草的营养成分受生长期的影响明显,川中丘陵地区的巨菌草与其他生态环境的巨菌草的部分营养成分变化规律不同。单胃动物宜选择生长高度 100 cm 以下的巨菌草,反刍动物选择生长高度 100 cm 以上的巨菌草较适宜。因而,巨菌草作为畜禽用饲料应根据当地栽培的巨菌草营养成分实测值进行配制应用。

参考文献:

[1] 杨晶,戴求仲,侯振平,等.基于专利分析的麻类作物饲料化利用技术态势及热点分析[J].生物技术通报,2018,34(12):207-214.
YANG J, DAI Q Z, HOU Z P, et al. Development trends and technical hotspots in feed processing technology of bast fiber crops based on the analysis of patents[J]. Biotechnology Bulletin, 2018, 34(12): 207-214. (in Chinese)

[2] 周晶,林兴生,林辉,等.菌草研究与应用进展[J].福建农林大学学报(自然科学版),2020,49(2):145-152.
ZHOU J, LIN X S, LIN H, et al. Advances on Juncao research and application[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2020, 49(2): 145-152. (in Chinese)

[3] LIU F S, LIN D M, LIN H, et al. Physiological and photosynthetic responses of giant Juncao (*Pennisetum giganteum*) to drought stress[J]. Fresenius Environ-

mental Bulletin and Advances in Food Sciences, 2017,26(6):3868-3871.

[4] 郑华坤,林雄杰,林辉,等.巨菌草(*Pennisetum giganteum*)研究进展[J].福建农林大学学报(自然科学版),2019,48(6):681-687.
ZHENG H K, LIN X J, LIN H, et al. Research progress on jujuncao (*Pennisetum giganteum*)[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2019, 48(6): 681-687. (in Chinese)

[5] 汤小朋,熊康宁,张凯,等.巨菌草饲用价值研究现状及其对贵州喀斯特石漠化治理的启示[J].中国野生植物资源,2020,39(1):47-50,72.
TANG X P, XIONG K N, ZHANG K, et al. Current researches on feeding value of *Pennisetum* sp. and its enlightenment to the karst rocky desertification control [J]. Chinese Wild Plant Resources, 2020, 39(1): 47-50, 72. (in Chinese)

[6] 张进国,雷荷仙,黎纪凤,等.巨菌草在不同海拔高度的生长表现[J].贵州农业科学,2013,41(3):112-115.
ZHANG J G, LEI H X, LI J F, et al. Growth performance of *Pennisetum* sp. at different elevation [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2013, 41(3): 112-115. (in Chinese)

[7] 雷荷仙,张进国,黎纪凤,等.海拔高度对巨菌草生长性能的影响试验[J].贵州畜牧兽医,2012,36(6):59-63.
LEI H X, ZHANG J G, LI J F, et al. Effect of altitude on growth performance of *Pennisetum giganteum*[J]. Guizhou Animal Science and Veterinary Medicine, 2012, 36(6): 59-63. (in Chinese)

[8] 段传宏,王晓云,张宏伟,等.巨菌草在淮河源地区地上部分营养物质变化规律[J].西南农业学报,2019,32(9):2020-2024.
DUAN C H, WANG X Y, ZHANG H W, et al. Regularity of major nutritional material of aboveground *Pennisetum* sp. in *Huaihe* river source area[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2019, 32(9): 2020-2024. (in Chinese)

[9] 张秀平,杨志杰,张亚振,等.巨菌草在冀中南地区的引种试验[J].安徽农业科学,2015,43(36):78-80.
ZHANG X P, YANG Z J, ZHANG Y Z, et al. Introduction experiment of *Pennisetum* sp. in central and southern regions of *Hebei*[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(36): 78-80. (in Chinese)

[10] 陈艳,王之盛,张晓明,等.常用粗饲料营养成分和饲用价值分析[J].草业学报,2015,24(5):117-125.
CHEN Y, WANG Z C, ZHANG X M, et al. Analysis of the nutritional components and feeding values of commonly used roughages[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2015, 24(5): 117-125. (in Chinese)

[11] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2007.
ZHANG L Y. Feed analysis and feed quality testing technology[M]. 3rd ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2007. (in Chinese)

[12] Joint FAO/WHO Adhoc Expert Committee. Energy and protein requirements[R]. Rome: FAO and WHO, 1973: 52-63.

[13] 朱圣陶,吴坤.蛋白质营养价值评价——氨基酸比值系数法[J].营养学报,1988(2):187-190.
ZHU S T, WU K. Nutritional evaluation protein—amino acid ratio coefficient method[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 1988(2): 187-190. (in Chinese)

[14] 孙娟娟,阿拉木斯,赵金梅,等.6 个紫花苜蓿品种氨基酸组成分析及营养价值评价[J].中国农业科学,2019,52(13):2359-2367.
SUN J J, A L M S, ZHAO J M, et al. Analysis of amino acid composition and six native alfalfa cultivars [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(13): 2359-2367. (in Chinese)

[15] 娄秀伟,王锡礼,刘钦,等.巨菌草不同生长高度养分测定与刈割利用高度分析[J].农业科学,2018,8(9):1087-1091.
LOU X W, WANG X L, LIU Q, et al. Analysis on nutrient determination and cutting utilization height of *Pennisetum* sp. at different growth heights [J]. Hans Journal of Agricultural Sciences, 2018, 8(9): 1087-1091. (in Chinese)

[16] 杨旭晖,马亨,徐新平.三种不同青贮饲料饲喂育肥牛羊对比效果试验[J].畜牧兽医杂志,2019,38(1):86-87,90.
YANG X H, MA H, XU X P. Test of comparative effect of three different silage feeds on fattening cattle and sheep[J]. Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, 2019, 38(1): 86-87, 90. (in Chinese)

[17] 阿依古丽·达嘎尔别克,阿地力哈孜·阿地汗,哈丽代·热合木江,等.不同含水率对昭苏马场刈割草青贮发酵品质的影响[J].江苏农业科学,2015,43(9):242-243.
DAGAERBIEKE A, ADIHAN A, REHEMUJIANG H, et al. Effect of different moisture content on fermentation quality of mowing grass silage in *Zhaosu* horse

farm[J].Jiangsu Agricultural Sciences,2015,43(9):242-243.(in Chinese)

[18] 陈碧成,林洁荣,罗宗志,等.巨菌草不同生长时间的常规营养成分及氨基酸含量测定[J].贵州农业科学,2016,44(1):101-103,109.
CHEN B C,LIN J R,LUO Z Z,et al.Determination of routine nutritional ingredients and amino acid contents of *Jujuncao* during different growth stages[J].Guizhou Agricultural Sciences,2016,44(1):101-103,109.(in Chinese)

[19] 丁铭,王龙清,张旭,等.巨菌草与其他饲草的营养成分比较[J].安徽农业科学,2015,43(35):172-173.
DING M,WANG L Q,ZHANG X,et al.Comparison of nutritional components between *Pennisetum giganteum* and other forages[J].Journal of Anhui Agricultural Sciences,2015,43(35):172-173.(in Chinese)

[20] 田春丽,李斌,刘芳,等.硒、锌元素配施对紫花苜蓿产量、植株体内硒锌积累和氨基酸含量的影响[J].草业学报,2019,28(3):142-153.
TIAN C L,LI B,LIU F,et al.Effect of combined applications of selenium and zinc on herbage yield,Zn,Se accumulation and amino acid content of alfalfa[J].Acta Prataculturae Sinica,2019,28(3):142-153.(in Chinese)

[21] 王郝为,王启业,吴端钦.刈割高度对象草营养成分及饲用价值的影响分析[J].中国饲料,2018(3):73-75.
WANG H W,WANG Q Y,WU D Q.Study on nutrients composition and feeding value of napiergrass at different cutting height[J].China Feed,2018(3):73-75.(in Chinese)

[22] 陈勇,罗富成,毛华明,等.不同株高刈割对王草营养价值及降解率的影响[J].贵州农业科学,2010,38(10):74-76.
CHEN Y,LUO F C,MAO H M,et al.Effects of different cutting height on nutrition value and degradation rate of Pennisetum purpureum[J].Guizhou Agricultural Sciences,2010,38(10):74-76.(in Chinese)

[23] 欧阳富龙,张光磊,彭媛媛,等.粗纤维饲粮在单胃动物饲料中的应用[J].饲料研究,2016(7):5-9.
OUYANG F L,ZHANG G L,PENG Y Y,et al.Application of crude fiber diet in monogastric animal feed[J].Feed Research,2016(7):5-9.(in Chinese)

[24] 曾雪聪.单胃动物饲料中粗纤维饲粮的应用[J].中国畜牧兽医文摘,2017,33(8):229.
ZENG X C.Application of crude fiber diet in single stomach animal feed[J].Chinese Abstracts of Animal Husbandry and Veterinary Medicine,2017,33(8):229.(in Chinese)

[25] 马德芳,王英微.粗纤维对反刍动物的营养作用[J].养殖技术顾问,2011(7):65.
MA D F,WANG Y W.Nutritional effect of crude fiber on ruminants[J].Technical Advisor for Animal Husbandry,2011(7):65.(in Chinese)

[26] BAUMAN D E,GRIINARI J M.Nutritional regulation of milk fat synthesis[J].Annual Review of Nutrition,2003,23:203-227.

[27] 李岚捷,成述儒,刁其玉,等.日粮碳水化合物对幼龄反刍动物生长发育的影响[J].畜牧与兽医,2017,49(12):145-149.
LI L J,CHENG S R,DIAO Q Y,et al.Effect of dietary carbohydrate on growth and development of young ruminant animals[J].Animal Husbandry & Veterinary Medicine,2017,49(12):145-149.(in Chinese)

[28] 钟小仙,江海东,顾洪如,等.施肥和刈割间隔对杂交狼尾草钙磷镁含量的影响[J].江苏农业科学,2005(5):89-91.
ZHONG X X,JIANG H D,GU H R,et al.Effects of nitrogen fertilizer application and defoliation intervals on calcium,phosphate and magnesium content in hybrid *Pennisetum*[J].Jiangsu Agricultural Sciences,2005(5):89-91.(in Chinese)

[29] 高扬,毛亮,周培,等.Pb、Cd 复合胁迫下 4 种植物抗氧化防御差异性研究[J].中国生态农业学报,2010,18(4):836-842.
GAO Y,MAO L,ZHOU P,et al.Antioxidative defense system differences among four plants under combined Pb and Cd stress[J].Chinese Journal of Eco-Agriculture,2010,18(4):836-842.(in Chinese)

[30] 吴端钦,王郝为,侯振平.几种南方非常规饲料作物的营养成分及氨基酸组成[J].草业科学,2017,34(6):1332-1336.
WU D Q,WANG H W,HOU Z P.Study of nutrient components and amino acid formation in several southern Chinese unconventional roughage sources[J].Pratacultural Science,2017,34(6):1332-1336.(in Chinese)

[31] 王洪荣.反刍动物氨基酸营养平衡理论及其应用[J].动物营养学报,2013,25(4):669-676.
WANG H R.Recent advances in amino acid nutritional balance theory for ruminants and its application[J].Chinese Journal of Animal Nutrition,2013,25(4):669-676.(in Chinese)

[32] 刘远,吴贤锋,陈鑫珠,等.牧草叶作为饲料原料的营

养价值分析[J].中国农学通报,2018,34(17):135-139.
LIU Y,WU X F,CHEN X Z,et al.Nutrition value of leaves of forage grasses as feedstuffs[J].Chinese Agricultural Science Bulletin,2018,34(17):135-139.(in Chinese)

[33] LUO J Q,CHEN D W,YU B.Effects of different dietary protein sources on expression of genes related to protein metabolism in growing rats[J].The British Journal of Nutrition,2010,104(10):1421-1428.

[34] LE FLOC'H N,GONDRET F,MATTE J J,et al.Towards amino acid recommendations for specific physiological and patho-physiological states in pigs[J].The Proceedings of the Nutrition Society,2012,71(3):425-432.

[35] 王丽娟.现代奶牛生产中干物质采食量的研究进展[J].饲料工业,2015,36(7):53-56.
WANG L J.Research progress of dry matter intake on dairy cows production[J].Feed Industry,2015,36(7):53-56.(in Chinese)

[36] 郑溜丰.低蛋白日粮添加支链氨基酸对仔猪采食量和骨骼肌生长的影响及调控机制研究[D].博士学位论文.武汉:华中农业大学,2017.
ZHENG L F.Mechanisms of supplementing branched chain amino acids to reduces protein diet in regulating feed intake and skeletal muscle growth of piglets[D].Ph.D. Thesis.Wuhan:Huazhong Agricultural University,2017.(in Chinese)

[37] 杨春雷,巩振华.氨基酸对动物采食的调控作用[J].农产品加工(学刊),2013(11):51-52,56.
YANG C L,GONG Z H.Regulation of amino acids on feed intake of animal[J].Academic Periodical of Farm Products Processing,2013(11):51-52,56.(in Chinese)

[38] 孙小松,夏先林,顾明,等.几种多年生牧草冬春季节营养成分的含量变化[J].贵州农业科学,2011,39(6):135-137,140.
SUN X S,XIA X L,GU M,et al.Changes of nutrition composition content of several perennial grasses in spring and winter[J].Guizhou Agricultural Sciences,2011,39(6):135-137,140.(in Chinese)

[39] 陈吉红.抗营养因子的抗营养作用及消除[J].兽药与饲料添加剂,2004,9(1):21-23.
CHEN J H.Antinutritional effect and elimination of antinutritional factors[J].Veterinary Pharmaceuticals & Feed Additives,2004,9(1):21-23.(in Chinese)

[40] 谢焰锋,许林,戢小梅,等.巨菌草单宁成分的提取和测定[J].湖北农业科学,2015,54(17):4250-4252.
XIE Y F,XU L,JI X M,et al.Extraction and content determination of tannin in Pennisetum sinese[J].Hubei Agricultural Sciences,2015,54(17):4250-4252.(in Chinese)

Comparative Analysis of Nutritional Components of *Pennisetum giganteum* at Different Growth Heights in Hill Regions of Central *Sichuan*

CHEN Dongmei[1,2*]　CHEN Yao[1,2]　ZHANG Long[1,2]　WEI Yi[1,2]　ZHOU Caiquan[1,2*]

(1. *Institute of Ecology*, *China West Normal University*, *Nanchong* 637002, *China*; 2. *Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Conservation* (*Ministry of Education*), *China West Normal University*, *Nanchong* 637002, *China*)

Abstract: In order to investigate the change rule of *Pennisetum giganteum* at different growth heights in the hill regions of central *Sichuan*, the contents of conventional nutritional components, vitamins, amino acids and tanin of *Pennisetum giganteum* at the growth heights of 50 to 100 cm, 100 to 150 cm, 150 to 200 cm and 200 to 250 cm were evaluated, respectively. The results showed that the contents of dry matter (DM), ash (Ash), crude fiber (CF), acid detergent fiber (ADF) and acid detergent lignin (ADL) of *Pennisetum giganteum* were extremely significantly increased with the growth height increasing ($P<0.01$), and the general energy (GE) and neutral detergent fiber (NDF) content were significantly increased with the growth height increasing ($P<0.05$). However, the content of crude protein (CP) of *Pennisetum giganteum* was extremely significantly decreased with the growth height increasing ($P<0.01$). Meanwhile, the contents of ether extract (EE) of 150 to 200 cm and 200 to 250 cm *Pennisetum giganteum* was significantly higher than that of 50 to 100 cm and 100 to 150 cm *Pennisetum giganteum* ($P<0.05$), whereas no significant differences were observed in the contents of calcium (Ca) and total phosphorus (TP) of *Pennisetum giganteum* among different growth heights ($P>0.05$). Furthermore, isoleucine (Ile) was the first limiting amino acid of the *Pennisetum giganteum*. The contents of essential amino acids (EAA), non-essential amino acids (NEAA) and total amino acids (TAA) of *Pennisetum giganteum* were decreased with the growth height increasing, and 50 to 100 cm *Pennisetum giganteum* had the highest values, which were extremely significantly higher than that of *Pennisetum giganteum* at other growth heights ($P<0.01$). The highest ratio of sweet taste amino acids plus fresh taste amino acids to bitter taste amino acids was also observed in the 50 to 100 cm *Pennisetum giganteum*, while the ratios of EAA/NEAA, EAA/TAA and EAA/CP of *Pennisetum giganteum* were decreased with the growth height increasing. Moreover, the contents of β-carotene, vitamin C and vitamin B_6 of *Pennisetum giganteum* were increased with the growth height increasing, whereas the content of tannin was decreased with the growth height increasing. The results of this research indicate that some nutritional components of the *Pennisetum giganteum* grown in the hill regions of central *Sichuan* are different from those of the *Pennisetum giganteum* in the other regions. *Pennisetum giganteum* with a <100 cm growth height is suitable to be used for monogastrics, whereas ruminants are better to be fed the *Pennisetum giganteum* with a >100 cm growth height. [***Chinese Journal of Animal Nutrition***, **2021**, **33**(**9**):**5313-5323**]

Key words: *Pennisetum giganteum*; hill regions; growth height; nutritional components; amino acids

* Corresponding authors: CHEN Dongmei, associate professor, E-mail: cdmfjm@163.com; ZHOU Caiquan, professor, E-mail: drcqzhou1@163.com

(责任编辑　管景颖)