

DOI: 10.11686/cyxb2021402

http://cyxb.magtech.com.cn

郭冬生, 汤少勋. 品种及成熟期对玉米秸秆不同形态部位干物质及粗蛋白降解特性的影响. 草业学报, 2022, 31(10): 178—188.

GUO Dong-sheng, TANG Shao-xun. *In vivo* degradation characteristics of dry matter and crude protein of four morphological fractions for five varieties maize harvested at two maturity stages. Acta Prataculturae Sinica, 2022, 31(10): 178—188.

品种及成熟期对玉米秸秆不同形态部位干物质及粗蛋白降解特性的影响

郭冬生¹, 汤少勋^{2*}

(1. 湖南文理学院生命与环境科学学院, 动物学湖南省高校重点实验室, 湖南 常德 415000; 2. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 亚热带农业生态过程重点实验室, 畜禽养殖污染控制与资源化技术国家工程实验室, 湖南省动物营养生理与代谢过程重点实验室, 湖南 长沙 410125)

摘要:玉米秸秆是反刍家畜主要粗饲料来源之一, 其营养降解特性不仅受玉米品种及成熟时期的影响, 而且与玉米秸秆形态部位组成相关。本试验通过分析不同类型玉米品种秸秆不同形态部位在 2 个成熟期干物质(DM)及粗蛋白(CP)的瘤胃降解特性, 为玉米秸秆在反刍家畜中的利用提供数据支持。试验选用科湘玉 11 号(常规玉米)、高油 115(高油玉米)、科湘糯玉 1 号(糯玉米)、沪青 1 号(饲用玉米)和科湘甜玉 1 号(甜玉米)5 个品种玉米, 分别在抽穗后的第 17 天(乳熟期)和第 31 天(蜡熟期)采集其叶片、叶鞘、茎秆及苞叶 4 个形态部位的样品, 利用瘤胃尼龙袋技术分析所有样品的 DM 及 CP 的瘤胃降解动力学参数变化规律, 结果表明: 蜡熟期叶片、叶鞘、茎秆部位 DM, 以及叶片和苞叶部位 CP 的快速降解部分(a 值)显著($P < 0.001$)高于乳熟期, 但其叶片、叶鞘和茎秆部位 DM, 叶片、叶鞘和苞叶部位粗蛋白的慢速降解部分(b 值), 以及苞叶干物质有效降解率(ED)极显著($P < 0.001$)低于乳熟期。新培育品种玉米不同形态部位干物质及粗蛋白的 a 、 b 及 ED 值与普通品种玉米相近或更高。不同形态部位间 DM 及 CP 降解动力学参数也存在显著差异, ED 值都按茎秆 > 苞叶 > 叶鞘 > 叶片的顺序依次降低。结论表明: 延长成熟期主要影响秸秆 DM 和 CP 的 a 与 b 值; 不同品种间 DM 及 CP 的有效降解率以高油玉米和糯玉米较高。

关键词: 品种玉米; 成熟期; 形态部位; 玉米秸秆; 降解特性

In vivo degradation characteristics of dry matter and crude protein of four morphological fractions for five varieties maize harvested at two maturity stages

GUO Dong-sheng¹, TANG Shao-xun^{2*}

1. College of Life and Environmental Science, Zoology Key Laboratory of Hunan Higher Education, Hunan University of Arts and Science, Changde 415000, China; 2. Key Laboratory for Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Hunan Provincial Key Laboratory of Animal Nutritional Physiology and Metabolic Process, National Engineering Laboratory for Pollution Control and Waste Utilization in Livestock and Poultry Production, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China

Abstract: Maize stalk is an important source of roughage for ruminants, and its nutritional degradation characteristics are affected by variety and maturity of the maize, and also related to the composition of the component morphological parts of the maize stalk. This experiment provides data support for the utilization of maize stalk in ruminant livestock

收稿日期: 2021-11-08; 改回日期: 2021-12-20

基金项目: 中国科学院战略性先导专项项目(XDA28020400), 湖南省自然科学基金项目(2021JJ30763)和长沙市自然科学基金项目(Kq2007014)资助。

作者简介: 郭冬生(1973-), 男, 湖南常德人, 教授, 硕士。E-mail: guods888@163.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: sxtang@isa.ac.cn

by analyzing the rumen degradation characteristics of dry matter (DM) and crude protein (CP) of different morphological parts of maize stalk at two maturity stages. Five varieties of maize: Kexiangyu No. 11 (conventional maize), Gaoyou 115 (high oil maize), Kexiangnuoyu No. 1 (waxy maize), Huqing No. 1 (forage maize) and Kexiang Tianyu No. 1 (sweet maize) were selected in this experiment. Samples of the four morphological parts of leaf blade, leaf sheath, stem and husk were collected on day 17 day (milk maturity stage) and day 31 (wax maturity stage) after tasselling, and an *in situ* degradation technique was used to analyse the kinetic parameters of DM and CP rumen degradation in all samples. It was found that the rapidly degrading fraction (a values) of DM of leaf blades, leaf sheaths, and stems, and the a values of CP of leaf blades and husks at the wax maturity stage were higher ($P < 0.001$) than corresponding values at the milk stage, while the slowly degrading fraction (b values) of DM of leaf blades, leaf sheaths, and stems, b values of CP of leaf blades, leaf sheaths and husks, and the effective degradability (ED) values of the husk DM at the wax maturity stage were significantly lower ($P < 0.001$) than those of the milk stage. The a , b and ED values of the DM and CP of the different morphological parts of the new maize cultivars were similar to or higher than those of the conventional maize. Differences in DM and CP degradation kinetic parameters were also observed among different morphological components. The ED values decreased in the order of stem > husk > leaf sheath > leaf blade. In conclusion, extending the maturity period mainly affects the a and b values of DM and CP of maize stalk. Among different varieties, the ED of DM and CP was higher in high-oil and waxy maize.

Key words: maize variety; maturity stage; morphological fraction; maize stalk; degradation characteristic

近年来培育出的很多新玉米(*Zea mays*)品种(如甜玉米、糯玉米、高油玉米及青贮用玉米等)满足了人们不同的生活需求。玉米籽实收获以后含有丰富的纤维成分,是反刍家畜重要的粗饲料资源,特别对粗饲料资源不足的区域尤为重要。

玉米秸秆的营养品质不仅受气候条件、栽培方式(如水肥管理)、贮藏方法的影响,同时也受秸秆形态学组成的影响。研究发现,玉米秸秆叶片中的有机质(organic matter, OM)和粗蛋白(crude protein, CP)消化率要高于茎秆部分^[1]。玉米秸秆叶片 CP 含量及其体外产气量要高于茎秆部位,而酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)含量则低于茎秆部位^[2]。除了玉米秸秆的形态学部位外,秸秆的营养价值还取决于收获时期。已有研究报道,玉米秸秆粗蛋白含量,以及可溶性碳水化合物含量随成熟度的增加而降低,但木质素和木聚糖的含量则随成熟时间的增加而上升^[3-4]。除了收获时间和秸秆的形态学部位外,玉米品种也对玉米秸秆或青贮玉米饲料的营养价值和消化率有影响^[5-6]。有研究表明,褐色中脉品种玉米秸秆木质素含量低,因此其干物质消化率较高^[7-8]。Tolera 等^[5]对 8 个玉米品种的研究结果表明其秸秆营养品质存在显著差异。

不同品种玉米由于其利用目的与方式不尽一致,因此收获时间也不一致,如甜玉米和糯玉米主要在乳熟期进行采摘,饲用玉米主要在乳熟末期至蜡熟初期收获进行青贮,而普通玉米作为青贮饲料时也会在乳熟末期至蜡熟初期收获,这导致其营养品质也不相同。尽管已有部分研究对一些新玉米杂交种的营养成分价值进行了评估^[9-10],但对于这些新品种玉米秸秆不同形态部位在不同成熟期营养降解动力学特性变化规律的研究还相当少见。因此,本研究拟通过比较相同收获期条件下不同品种玉米秸秆不同形态部位营养成分的降解动力学特性,为新品种玉米秸秆在反刍家畜中的利用提供技术参数。

1 材料与方法

1.1 玉米品种

试验选用 5 个玉米杂交品种,即科湘玉 11 号(常规玉米)、高油 115(高油玉米)、科湘糯玉 1 号(糯玉米)、沪青 1 号(饲用玉米)和科湘甜玉 1 号(甜玉米)。科湘玉 11 号、科湘糯玉 1 号和科湘甜玉 1 号分别为中国科学院亚热带农

业研究所选育的常规玉米、早熟糯玉米和甜玉米品种;高油 115 为中国农业大学育成的含油量高的玉米品种;沪青 1 号为青贮型杂交品种。

1.2 栽培、收获与样品制备

试验设在中国科学院亚热带农业生态研究所农场,于 2005 年 4 月 22 日播种,每个品种设 3 个重复样地,所有玉米品种的水肥管理条件相同。分别在抽穗后第 17 天(乳熟期)和第 31 天(蜡熟期)采样。每个品种每块重复样地随机采集 10 株整株玉米秸秆,再手工分成叶片、叶鞘、茎秆和苞叶 4 个形态部位。所有样品在 65 °C 烘干,然后粉碎过孔径为 1 mm 的筛,并保存在塑料密封袋中,以供后续瘤胃原位尼龙袋降解试验用。

1.3 化学成分分析

按照张丽英^[11]确定的常规营养测定方法测定干物质(dry matter, DM)、粗蛋白质(CP)、灰分(Ash)和磷(P)的含量;依照 Hall 等^[12]的方法使用 Fi-bretherm FT12 全自动纤维仪(Gerhardt analytical systems, 德国)测定中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)含量。玉米秸秆样品化学成分组成如表 1 所示。

1.4 瘤胃原位尼龙袋降解试验

选用 3 头装有永久性瘤胃瘘管的成年浏阳黑山羊[体重(35±2.0) kg]作为试验动物。试验动物基础日粮由玉米秸秆和精料补充料组成,每天饲喂精料 300 g,玉米秸秆 450 g,分两次饲喂,自由饮水。精料组成为(g·kg⁻¹ DM):玉米 452,麦麸 360,豆粕 126,尿素 16,食盐 10,预混料 36。预混料组成为每 kg 含:FeSO₄·H₂O 6.20 g, CuSO₄·5H₂O 4.00 g, CoCl₂·6H₂O 0.04 g, KIO₃ 0.17 g, MnSO₄·H₂O 18.87 g, ZnSO₄·H₂O 11.43 g, NaSeO₃ 0.0056 g,维生素 A 64700 IU,维生素 D 17500 IU 和维生素 E 18000 IU。

准确称取 2.5 g 秸秆样品于尼龙袋中(孔径 35 μm,规格 6 cm×12 cm),每头羊每个时间点两个平行。尼龙袋绑在一根塑料管上,一次性将尼龙袋全部投入瘤胃背囊,分别于 2, 6, 12, 24, 36, 48 和 72 h 取出尼龙袋,用清水冲掉表面的瘤胃食糜,所有尼龙袋(包括 0 h)再用洗衣机(XPB15-8006,慈溪,中国)冲洗直到水清澈;将冲洗干净的尼龙袋于 65 °C 烘干 48 h,取出称重,装入样品袋常温保存,用以测定营养物质瘤胃降解率。采用以下方程计算 DM 和 CP 的降解动力学参数: $p = a + b \times (1 - e^{-ct})$ ^[14],采用 $ED = a + [b \times c / (c + kp)]$ 计算 DM 和 CP 的有效降解率(effective degradability, ED)^[15],式中: p , a , b 和 c 分别表示 DM 或 CP 的实际降解率(%),以及快速(%),慢速(%)降解部分的比例和降解速率(%·h⁻¹), kp 表示瘤胃食糜颗粒的流通速率,本研究中根据山羊体重和采食量设定为 0.02%·h⁻¹^[16]。

1.5 数据统计与分析

采用 SAS 软件包(8.2 版, SAS, 2001)的 Mixed 过程进行方差分析,统计降解动力学参数及有效降解率的模型如下:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + V_j + M_k + VM_{jk} + E_{ijk}$$

式中: Y_{ijk} 为依变量, μ 为总体平均值, R_i 为重复 i 的影响, V_j 为品种 j 的影响, M_k 表示成熟期 k 的影响, VM_{jk} 表示品种 j 与成熟期 k 的交互影响, E_{ijk} 表示随机残差。采用 Tukey's 检验对最小二乘方法结果进行多重比较, $P \leq 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 干物质降解动力学特性

5 个品种乳熟期叶片 a 值平均值(27.8%)显著低于($P < 0.001$)蜡熟期(30.5%),而 b 值(46.3%)则高于($P < 0.001$)蜡熟期(38.3%)(表 2);5 个品种间叶片 a_{DM} 值按高油玉米(31.2%)>糯玉米(29.7%)>青贮玉米(28.5%)=甜玉米(28.5%)>普通玉米(27.8%)的顺序而降低($P < 0.01$); b_{DM} 值按普通玉米(48.9%)>糯玉米(43.4%)>高油玉米(43.1%)>甜玉米(39.3%)>青贮玉米(36.7%)的顺序降低($P < 0.001$);而 c_{DM} 值则按高油玉米>青贮玉米>糯玉米>甜玉米>普通玉米的顺序显著降低($P < 0.001$);叶片 ED_{DM} 值受成熟期与品种间的互作($P < 0.001$)影响,仅普通玉米随成熟时间延长其干物质有效降解率上升,其他品种都呈下降趋势。

表 1 不同成熟期不同品种玉米秸秆不同形态部位化学成分组成
Table 1 Chemical composition of morphological fractions for five variety corn stalk harvested at two maturity stages^[13]

品种 Variety	形态学部位 Morphological fraction	成熟期 Maturity stage	化学成分 Chemical composition (g·kg ⁻¹ DM)				
			OM	CP	P	NDF	ADF
普通玉米 Common corn	叶片 Leaf blade	乳熟期 Milk stage	880	178	2.66	563	338
		蜡熟期 Dough stage	867	156	2.85	552	355
	叶鞘 Leaf sheath	乳熟期 Milk stage	896	58	1.44	637	397
		蜡熟期 Dough stage	902	50	1.36	631	377
	茎秆 Stem	乳熟期 Milk stage	947	61	1.82	559	370
		蜡熟期 Dough stage	938	53	1.35	539	365
	苞叶 Husk	乳熟期 Milk stage	958	56	2.28	630	316
		蜡熟期 Dough stage	964	50	1.99	662	345
青贮玉米 Silage corn	叶片 Leaf blade	乳熟期 Milk stage	866	190	2.77	559	350
		蜡熟期 Dough stage	879	165	2.50	559	351
	叶鞘 Leaf sheath	乳熟期 Milk stage	890	75	2.04	638	412
		蜡熟期 Dough stage	907	57	2.07	576	355
	茎秆 Stem	乳熟期 Milk stage	936	78	1.90	595	431
		蜡熟期 Dough stage	954	70	1.60	539	354
	苞叶 Husk	乳熟期 Milk stage	967	58	2.43	588	303
		蜡熟期 Dough stage	969	53	2.66	615	297
高油玉米 High oil corn	叶片 Leaf blade	乳熟期 Milk stage	891	192	2.97	521	303
		蜡熟期 Dough stage	884	166	2.73	524	332
	叶鞘 Leaf sheath	乳熟期 Milk stage	903	66	1.65	594	368
		蜡熟期 Dough stage	904	47	1.16	601	355
	茎秆 Stem	乳熟期 Milk stage	945	61	1.85	581	382
		蜡熟期 Dough stage	957	49	1.29	562	380
	苞叶 Husk	乳熟期 Milk stage	965	59	2.53	607	311
		蜡熟期 Dough stage	958	47	1.80	663	353
甜玉米 Sweet corn	叶片 Leaf blade	乳熟期 Milk stage	867	185	2.73	534	318
		蜡熟期 Dough stage	859	165	2.17	551	340
	叶鞘 Leaf sheath	乳熟期 Milk stage	888	63	1.65	608	363
		蜡熟期 Dough stage	896	59	1.40	651	379
	茎秆 Stem	乳熟期 Milk stage	944	78	1.94	564	371
		蜡熟期 Dough stage	948	73	1.55	553	372
	苞叶 Husk	乳熟期 Milk stage	962	66	2.52	560	291
		蜡熟期 Dough stage	961	56	2.21	645	332
糯玉米 Waxy corn	叶片 Leaf blade	乳熟期 Milk stage	876	187	2.87	546	314
		蜡熟期 Dough stage	857	160	2.57	554	339
	叶鞘 Leaf sheath	乳熟期 Milk stage	904	67	1.18	618	368
		蜡熟期 Dough stage	904	55	1.15	635	356
	茎秆 Stem	乳熟期 Milk stage	950	77	1.34	564	360
		蜡熟期 Dough stage	959	62	1.21	523	331
	苞叶 Husk	乳熟期 Milk stage	963	64	2.12	599	289
		蜡熟期 Dough stage	961	50	1.50	682	322

OM: 有机质 Organic matter; CP: 粗蛋白 Crude protein; P: 磷 Phosphorus; NDF: 中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber; ADF: 酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber.

叶鞘 a_{DM} 值 ($P < 0.001$) 及 b_{DM} 值 ($P < 0.01$) 受成熟期与品种间的互作影响; 青贮玉米、普通玉米和糯玉米叶鞘 a_{DM} 值随成熟时间的延长而快速上升, 而甜玉米则快速下降; 糯玉米与青贮玉米叶鞘 b_{DM} 值随成熟时间的延长快速下降, 而甜玉米与普通玉米的 b_{DM} 值则受成熟期的影响较小; 5 个品种间高油玉米叶鞘 c_{DM} ($0.0257\% \cdot h^{-1}$) 显著高于 ($P < 0.01$) 糯玉米 ($0.0189\% \cdot h^{-1}$) 和普通玉米 ($0.0179\% \cdot h^{-1}$), 其他品种间无显著差异。

表 2 不同成熟期不同品种玉米秸秆叶片及叶鞘干物质降解动力学特性

Table 2 *In vivo* dry matter degradation kinetic characteristics of leaf blade and leaf sheath for five variety corn stalk harvested at two maturity stages

成熟期 Mature stage	品种 Variety	叶片 Leaf blade				叶鞘 Leaf sheath			
		a_{DM} (%)	b_{DM} (%)	c_{DM} ($\% \cdot h^{-1}$)	ED_{DM} (%)	a_{DM} (%)	b_{DM} (%)	c_{DM} ($\% \cdot h^{-1}$)	ED_{DM} (%)
乳熟期	糯玉米 Waxy corn	28.0	49.1	0.0189	52.1	32.6	43.2	0.0193	53.1
Milk stage	普通玉米 Common corn	25.8	49.7	0.0150	47.2	31.7	37.1	0.0178	49.5
	青贮玉米 Silage corn	27.2	42.4	0.0214	49.4	32.0	34.8	0.0210	49.0
	甜玉米 Sweet corn	27.0	43.4	0.0174	47.4	36.4	33.6	0.0233	54.4
	高油玉米 High oil corn	31.0	47.0	0.0215	55.5	35.2	31.4	0.0242	51.8
蜡熟期	糯玉米 Waxy corn	31.4	37.7	0.0174	48.6	36.1	24.2	0.0185	46.4
Dough stage	普通玉米 Common corn	29.9	48.2	0.0170	52.2	34.0	35.3	0.0181	50.5
	青贮玉米 Silage corn	29.9	30.9	0.0230	46.7	38.4	21.7	0.0253	51.0
	甜玉米 Sweet corn	29.9	35.2	0.0176	46.5	34.4	34.4	0.0199	52.0
	高油玉米 High oil corn	31.4	39.3	0.0246	51.1	36.1	25.6	0.0272	50.6
	SEM	0.94	2.65	0.0019	1.16	0.82	2.93	0.0023	1.73
P 值	M	***	***	NS	NS	***	***	NS	NS
P value	V	**	***	***	***	**	*	**	NS
	M×V	NS	NS	NS	**	***	**	NS	NS

注: SEM 表示最小二乘均值的标准误; M: 成熟期; V: 品种; M×V: 成熟期与品种的交互影响。NS: $P > 0.05$; *: $P \leq 0.05$; **: $P \leq 0.01$; ***: $P \leq 0.001$ 。下同。

Note: SEM means standard error of least square means; M: Mature stage; V: Variety; M×V: Mature stage interacted with variety. NS: $P > 0.05$; *: $P \leq 0.05$; **: $P \leq 0.01$; ***: $P \leq 0.001$. The same below.

5 个品种乳熟期茎秆部位 b_{DM} 值平均值 (29.7%) 显著高于蜡熟期 (23.9%)。糯玉米茎秆部位 b_{DM} 值 (32.3%) 显著高于 ($P < 0.001$) 普通玉米 (23.6%) 和高油玉米 (21.0%), 甜玉米茎秆部位 b_{DM} 值 (30.4%) 显著高于 ($P < 0.01$) 高油玉米, 其他品种间无显著差异。茎秆部位 a_{DM} 值与 ED_{DM} 值受成熟期与品种互作 ($P < 0.001$) 的影响 (表 3)。甜玉米茎秆部位 a_{DM} 值和 ED_{DM} 值, 以及普通玉米的 ED_{DM} 值随成熟时间的延长而快速下降, 而青贮玉米及高油玉米的 a_{DM} 值, 以及青贮玉米的 ED_{DM} 值则随成熟时间的延长而快速上升。

乳熟期苞叶 ED_{DM} 值 (55.9%) 显著高于蜡熟期 (48.9%), 青贮玉米 ED_{DM} 值 (57.5%) 显著高于 ($P < 0.01$) 糯玉米 (49.0%) 和普通玉米 (49.7%)。苞叶部位 a_{DM} 值 ($P < 0.01$) 和 c_{DM} 值 ($P < 0.05$) 也受成熟期与品种的互作影响。普通玉米苞叶 a_{DM} 值随成熟时间的变化很小, 而其他品种都随成熟时间延长而快速下降。青贮玉米与糯玉米苞叶 c_{DM} 值随成熟时间延长而快速上升, 而其他品种则快速下降。

玉米秸秆不同形态部位间 a_{DM} 、 b_{DM} 和 ED_{DM} 值也存在显著差异 ($P < 0.001$) (表 4), a_{DM} 值按茎秆 > 苞叶 > 叶鞘 > 叶片的顺序显著降低, b_{DM} 值按叶片 > 苞叶 > 叶鞘 > 茎秆的顺序显著下降, ED_{DM} 值则按茎秆 > 苞叶 > 叶鞘 > 叶片的顺序显著下降。

2.2 粗蛋白降解动力学特性

5 个品种乳熟期叶片部位 a_{CP} 值平均值 (32.7%) 显著低于 ($P < 0.05$) 蜡熟期 (38.7%), 而 b_{CP} 值 (46.6%) 则显著高于蜡熟期 (37.2%) (表 5)。该部位 CP 所有降解动力学参数都受品种与成熟期互作的影响 ($P < 0.001$), 糯玉

表 3 不同成熟期不同品种玉米秸秆茎秆及苞叶干物质降解动力学特性

Table 3 *In vivo* dry matter degradation kinetic characteristics of stem and husk for five variety corn stalk harvested at two maturity stages

成熟期 Mature stage	品种 Variety	茎秆 Stem				苞叶 Husk			
		a_{DM} (%)	b_{DM} (%)	c_{DM} (%·h ⁻¹)	ED_{DM} (%)	a_{DM} (%)	b_{DM} (%)	c_{DM} (%·h ⁻¹)	ED_{DM} (%)
乳熟期 Milk stage	糯玉米 Waxy corn	43.6	36.1	0.0138	58.2	36.0	41.5	0.0134	52.2
	普通玉米 Common corn	44.5	31.0	0.0158	56.8	32.5	36.4	0.0209	51.0
	青贮玉米 Silage corn	37.0	28.0	0.0169	49.4	41.0	34.9	0.0236	60.3
	甜玉米 Sweet corn	44.2	30.9	0.0147	55.8	42.4	33.7	0.0229	59.5
	高油玉米 High oil corn	40.2	22.3	0.0276	52.9	40.3	32.9	0.0196	56.7
蜡熟期 Dough stage	糯玉米 Waxy corn	46.4	28.5	0.0144	58.0	29.6	32.5	0.0203	45.7
	普通玉米 Common corn	45.0	16.1	0.0230	53.7	32.4	33.8	0.0189	48.4
	青贮玉米 Silage corn	47.6	25.4	0.0316	59.4	37.6	32.8	0.0313	54.8
	甜玉米 Sweet corn	40.3	29.9	0.0162	53.0	34.0	28.8	0.0162	47.1
	高油玉米 High oil corn	44.6	19.7	0.0164	53.5	32.8	33.1	0.0191	48.6
	SEM	0.82	2.82	0.0045	1.04	1.16	3.19	0.0027	2.43
P 值	M	***	***	NS	NS	***	NS	NS	***
P value	V	***	***	NS	***	***	NS	**	**
	M×V	***	NS	NS	***	**	NS	*	NS

米与甜玉米叶片 a_{CP} 值与 ED_{CP} 值随成熟时间延长而上升,其他品种则随成熟时间延长而下降;甜玉米与糯玉米的 b_{CP} 值随成熟时间延长而快速下降,而普通玉米和高油玉米则快速上升;甜玉米、糯玉米及青贮玉米叶片 c_{CP} 值随成熟时间延长而上升,而其他两种玉米则随成熟时间延长而下降。

乳熟期叶鞘 b_{CP} 值(31.3%)及 ED_{CP} 值(60.5%)显著高于蜡熟期(25.5%和58.4%),5个玉米品种间叶鞘 CP 降解动力学参数存在显著差异, ED_{CP} 值按高油玉米>甜玉米>糯玉米>青贮玉米>普通玉米的顺序而下降($P<0.001$), b_{CP} 值按甜玉米>普通玉米>糯玉米>高油玉米>青贮玉米的顺序下降($P<0.05$),而 c_{CP} 值则按青贮玉米>糯玉米>高油玉米>普通玉米>甜玉米的顺序下降($P<0.01$)(表5)。同时叶鞘 a_{CP} 、 b_{CP} 及 ED_{CP} 值也受玉米品种与成熟期互作的影响($P<0.001$)。

乳熟期与蜡熟期茎秆 a_{CP} 、 b_{CP} 和 ED_{CP} 无显著差异,而蜡熟期茎秆 c_{CP} 值(0.0757%·h⁻¹)显著高于($P<0.001$)乳熟期(0.0440%·h⁻¹)(表6)。5个品种间茎秆 a_{CP} 、 b_{CP} 和 ED_{CP} 值存在显著差异($P<0.001$), a_{CP} 值按甜玉米>糯玉米>青贮玉米>普通玉米>高油玉米的顺序下降($P<0.001$), b_{CP} 值按高油玉米>青贮玉米>糯玉米>普通玉米>甜玉米的顺序下降($P<0.001$), ED_{CP} 值则按糯玉米>甜玉米>青贮玉米>普通玉米>高油玉米的顺序降低($P<0.001$)。乳熟期苞叶 b_{CP} 值(27.1%)显著高于蜡熟期(18.9%),而 a_{CP} 值(58.5%)和 c_{CP} 值(0.0291%·h⁻¹)则显著低于($P<0.001$)蜡熟期(62.2%和0.0465%·h⁻¹)。5个品种间苞叶 a_{CP} 、 b_{CP} 和 ED_{CP} 存在显著差异,高油玉米和青贮玉米苞叶的 a_{CP} 值(分别为65.4%和62.4%)和 ED_{CP} 值(分别为77.2%和75.0%)显著高于糯玉米(分别为56.9%和70.1%)和普通玉米(分别为55.8%和71.2%),甜玉米的 a_{CP} 值(61.3%)显著高于普通玉米,而其 ED_{CP} 值(74.6%)则显著高于糯玉米(70.1%)。品种和成熟期对苞叶 a_{CP} 、 b_{CP} 和 ED_{CP} 值有显著的互作影响($P<0.001$)。

表 4 玉米秸秆不同形态部位间干物质降解动力学特性

Table 4 *In vivo* dry matter degradation kinetic characteristics of different morphological fractions

项目 Item	a_{DM} (%)	b_{DM} (%)	c_{DM} (%·h ⁻¹)	ED_{DM} (%)
叶片 Leaf blade	29.1c	42.3a	0.0195	49.7c
叶鞘 Leaf sheath	34.7b	32.1b	0.0215	50.8bc
茎秆 Stem	43.2a	26.8c	0.0188	55.0a
苞叶 Husk	36.0b	34.1b	0.0206	52.6b
SEM	0.4	1.0	0.0010	0.6
P 值 P value	***	***	NS	***

注: 同列不同字母表示差异显著($P\leq 0.05$)。下同。

Note: Different letters in same column means significant differences at 0.05. The same below.

表5 不同成熟期不同品种玉米秸秆叶片及叶鞘粗蛋白质降解动力学特性

Table 5 *In vivo* crude protein degradation kinetic characteristics of leaf blade and leaf sheath for five variety corn stalk harvested at two maturity stages

成熟期 Mature stage	品种 Variety	叶片 Leaf blade				叶鞘 Leaf sheath			
		a_{CP} (%)	b_{CP} (%)	c_{CP} (%·h ⁻¹)	ED_{CP} (%)	a_{CP} (%)	b_{CP} (%)	c_{CP} (%·h ⁻¹)	ED_{CP} (%)
乳熟期 Milk stage	糯玉米 Waxy corn	13.6	64.7	0.0235	48.0	39.4	33.8	0.0452	59.3
	普通玉米 Common corn	39.5	40.4	0.0270	61.3	37.8	35.7	0.0242	56.7
	青贮玉米 Silage corn	45.5	39.0	0.0216	66.3	43.8	24.2	0.0485	58.9
	甜玉米 Sweet corn	19.0	53.6	0.0284	49.5	42.2	35.9	0.0192	59.5
	高油玉米 High oil corn	46.0	35.3	0.0420	68.8	52.7	26.9	0.0277	67.9
蜡熟期 Dough stage	糯玉米 Waxy corn	47.1	28.6	0.0306	62.9	45.0	20.4	0.0477	58.7
	普通玉米 Common corn	33.1	49.8	0.0217	59.3	46.6	25.2	0.0258	60.8
	青贮玉米 Silage corn	34.4	36.4	0.0256	53.8	34.0	27.9	0.0346	50.7
	甜玉米 Sweet corn	47.8	27.7	0.0516	66.1	46.5	27.7	0.0261	62.4
	高油玉米 High oil corn	30.9	43.5	0.0265	54.7	45.0	26.2	0.0291	59.4
	SEM	4.23	4.06	0.0047	3.18	0.89	2.22	0.0078	1.21
<i>P</i> 值	M	*	***	NS	NS	NS	***	NS	**
<i>P</i> value	V	NS	NS	***	NS	***	*	**	***
	M×V	***	***	***	***	***	***	NS	***

表6 不同成熟期不同品种玉米秸秆茎秆及苞叶粗蛋白质降解动力学特性

Table 6 *In vivo* crude protein degradation kinetic characteristics of stem and husk for five variety corn stalk harvested at two maturity stages

成熟期 Mature stage	品种 Variety	茎秆 Stem				苞叶 Husk			
		a_{CP} (%)	b_{CP} (%)	c_{CP} (%·h ⁻¹)	ED_{CP} (%)	a_{CP} (%)	b_{CP} (%)	c_{CP} (%·h ⁻¹)	ED_{CP} (%)
乳熟期 Milk stage	糯玉米 Waxy corn	73.0	10.10	0.0461	79.7	53.7	32.0	0.0207	69.7
	普通玉米 Common corn	66.5	9.15	0.0521	72.9	44.1	37.1	0.0300	66.2
	青贮玉米 Silage corn	70.7	11.60	0.0408	78.0	64.5	19.2	0.0376	76.9
	甜玉米 Sweet corn	73.9	6.27	0.0329	77.8	64.2	23.2	0.0277	78.5
	高油玉米 High oil corn	59.5	14.40	0.0480	69.0	65.9	23.9	0.0296	79.9
蜡熟期 Dough stage	糯玉米 Waxy corn	69.0	11.00	0.0596	77.0	60.1	20.2	0.0582	70.4
	普通玉米 Common corn	66.9	8.36	0.0689	73.4	67.4	14.5	0.0500	76.2
	青贮玉米 Silage corn	64.9	10.50	0.0798	73.4	60.3	22.0	0.0317	73.1
	甜玉米 Sweet corn	71.3	7.07	0.0751	76.9	58.3	21.4	0.0253	70.6
	高油玉米 High oil corn	63.8	9.71	0.0949	70.0	64.9	16.5	0.0673	74.4
	SEM	2.14	1.35	0.0111	1.76	2.06	2.60	0.0103	1.40
<i>P</i> 值	M	NS	NS	***	NS	**	***	**	NS
<i>P</i> value	V	***	***	NS	***	***	NS	NS	***
	M×V	NS	NS	NS	NS	***	***	NS	***

不同形态部位间 a_{CP} 、 b_{CP} 、 c_{CP} 和 ED_{CP} 值存在显著差异 ($P < 0.001$), a_{CP} 值按茎秆 > 苞叶 > 叶鞘 > 叶片的顺序显著下降 ($P < 0.001$), 而 b_{CP} 值则按叶片 > 叶鞘 > 苞叶 > 茎秆的顺序显著降低 ($P < 0.001$), 茎秆和苞叶的 ED_{CP} 显著高于 ($P < 0.001$) 叶片和叶鞘 (表7)。

2.3 降解动力学参数与营养成分的相关性

由表 8 可知, 秸秆形态部位的 OM 含量与 a_{DM} 和 a_{CP} 值呈显著正相关, 而与 b_{DM} 和 b_{CP} 则呈显著负相关关系, 且 OM 含量与 ED_{CP} 值呈显著正相关关系。而 CP 含量则与 a_{DM} 和 a_{CP} 值以及 ED_{CP} 值呈显著负相关, 而与 b_{CP} 值则呈显著正相关关系。秸秆磷含量与营养降解动力学参数的相关性与粗蛋白的相似, 而 NDF 及 ADF 与营养降解动力学参数间的相关性则很低, 仅分别与 ED_{DM} 及 b_{DM} 表现出负相关关系。

表 8 降解动力学参数与营养成分间的相关系数

Table 8 Pearson correlation coefficients between degradation kinetic characteristics and chemical composition ($n=40$)

项目 Item	a_{DM}	b_{DM}	c_{DM}	ED_{DM}	a_{CP}	b_{CP}	c_{CP}	ED_{CP}
有机质 Organic matter	0.668***	-0.473**	0.036	0.470**	0.788***	-0.691***	0.430**	0.776***
粗蛋白 Crude protein	-0.616***	0.663***	-0.124	-0.271	-0.596***	0.677***	-0.329*	-0.454**
磷 Phosphorus	-0.482**	0.601***	0.085	-0.064	-0.393*	0.592***	-0.488**	-0.187
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber	-0.211	-0.115	0.001	-0.383*	0.115	-0.139	-0.088	0.048
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber	0.124	-0.360*	-0.109	-0.202	0.116	-0.328	0.255	-0.077

3 讨论

3.1 成熟期的影响

营养物质在瘤胃中的降解动力学参数反映了饲料营养在瘤胃中的降解过程, a 值代表时间为 0 时的降解率 (又称可溶性部分), b 值代表不可溶部分的可降解部分^[17]。叶片、叶鞘及茎秆部位干物质的 a 值随成熟度的增加而显著增加, b 值则显著降低, 而苞叶部分的 a 值则表现出相反的现象, 同时苞叶干物质的 b 值也表现出降低的趋势。同时, 延长收获期会显著降低除茎秆外其他 3 个形态部位粗蛋白的慢速降解部分, 并提高叶片与苞叶部位粗蛋白的快速降解部分, 这表明随成熟度的增加, 叶片、叶鞘、茎秆 (或苞叶) 部位中可溶性部分含量会相应增加, 而不可溶部分的可降解部分会降低。

而对于各形态部位干物质及粗蛋白的有效降解率, 由于其不仅受可溶性部分 (即 a 值) 所占比例的影响, 同时也受不可溶部分中可降解部分所占比例的影响, 因此其随成熟度增加而变化的趋势与 a 值的变化并不完全一致, 如延长成熟期时叶片、叶鞘及茎秆部位干物质有效降解率并没有显著地降低或提高, 仅苞叶部位的 ED 值在蜡熟期有显著降低 (表 2 和表 3), 这可能与苞叶部位在乳熟期干物质的 a 、 b 值都明显高于蜡熟期有关 (表 3)。同时, 叶片、茎秆及苞叶部位粗蛋白的有效降解率变化较小 (表 5 和表 6), 也可能与这几个部位 a 、 b 值随成熟时间延长呈相反变化, 或变化较小有关。在乳熟期和蜡熟期, 叶片、叶鞘及茎秆占全株秸秆的比例达 80% 以上, 而叶片、叶鞘及苞叶占全株秸秆的比例仅 60% 左右, 同时两个成熟期间整株秸秆有机物的体外消化率也没有显著差异^[13], 故延长成熟期可能对整株玉米秸秆干物质及粗蛋白的瘤胃有效降解率的影响较小, 但可能会提高秸秆的初始降解速度。武小平等^[18]对郑单 958 玉米品种在 3 个不同时期 (玉米籽粒乳线在 1/2、3/4、4/4 位置) 秸秆营养消化率的研究发现, 干物质及 NDF 消化率都随成熟时间的推移而显著降低。而闫贵龙等^[19]对巡青 938 玉米品种不同收获期秸秆营养消化率的研究发现, 其干物质消化率在 3/4 乳线期时最高。本研究中秸秆多个形态部位乳熟期与蜡熟期 DM 及 CP 有效降解率差异不显著, 可能是品种与成熟期互作影响的结果。

3.2 玉米品种的影响

在饲料营养瘤胃降解特性评价中, 主要参考慢速降解部分和有效降解率。5 个玉米品种间叶片部位 DM 有效

表 7 玉米秸秆不同形态部位间粗蛋白降解动力学特性

Table 7 *In vivo* crude protein degradation kinetic characteristics of different morphological fractions

项目 Item	a_{CP} (%)	b_{CP} (%)	c_{CP} (%·h ⁻¹)	ED_{CP} (%)
叶片 Leaf blade	36.0d	41.7a	0.0300b	59.2b
叶鞘 Leaf sheath	43.2c	28.2b	0.0330b	59.3b
茎秆 Stem	68.0a	9.8d	0.0588a	74.7a
苞叶 Husk	60.3b	23.0c	0.0373b	73.6a
SEM	1.04	1.04	0.0028	0.75
P 值 P value	***	***	***	***

降解率以高油玉米最高,以甜玉米最低,其他品种则居于二者之间,这可能与高油玉米在两个成熟期都具有较高的保绿性基因有关,闫贵龙^[20]研究表明,高油玉米秸秆在4/4乳线期仍然保持碧绿多汁,光合作用仍在进行。而甜玉米生育期较短,在稳定期持续时间短,衰老快。薛红枫等^[21]也发现高油玉米秸秆体外产气量要高于普通玉米。但对于叶鞘部位,5个品种间干物质有效降解率差异不显著。对于茎秆和苞叶部位,干物质的ED分别以糯玉米和青贮玉米较高,其他品种间则差异不显著,这表明新玉米品种与普通品种玉米相比,其干物质的降解利用率与普通玉米相近或略高于普通玉米。

5个品种叶片粗蛋白瘤胃降解动力学参数间均无显著差异,表明粗蛋白具有相似的降解和利用特性。对于叶鞘和苞叶部位,5个品种间粗蛋白有效降解率都以高油玉米最高,普通品种玉米则居于其他品种之间,这也可能与高油玉米在整个生育期都具有较高的光合作用有关^[20]。而茎秆部位则以糯玉米最高,高油玉米最低,普通玉米略高于高油玉米。

综合玉米品种不同部位干物质与粗蛋白的降解率与可降解部分的组成,新品种玉米秸秆可作为反刍动物的优质粗饲料来源。在乳熟期和蜡熟期,新品种玉米秸秆营养降解与利用率要优于普通品种玉米秸秆,可以为反刍动物提供比传统品种更多的可消化营养物质。

3.3 秸秆形态部位的影响

整株玉米秸秆的营养品质与饲用价值与其各形态部位的组成比例及营养价值密切相关,在不同形态部位间其干物质及粗蛋白降解动力学参数存在显著差异,即茎秆部位DM与CP的 a 值显著高于其他部位,而 b 值则显著低于其他部位,这可能与茎秆在蜡熟期含有更高的有机物及更低的磷和粗蛋白有关(表1),而秸秆CP和磷的含量较高会降低干物质及CP的 a 值,而对 b 值有促进作用(表8)。汤少勋等^[22]也发现牧草体外理论最大产气量及48 h累计产气量与牧草粗蛋白含量存在显著负相关关系。在4个形态部位中,叶片部位粗蛋白 a 值与 b 值比较接近,而其他3个部位都是 a 值大于 b 值,特别是在茎秆部位, a 值显著高于 b 值。这意味着在乳熟期或蜡熟期收获的秸秆,特别是秸秆茎秆部位的粗蛋白可能主要在瘤胃中被降解。

另外,茎秆及苞叶部位干物质ED值为52%~56%,CP的ED值在70%以上,而叶片及叶鞘部位干物质的ED值为50%左右,CP的ED值在60%以下,这预示着茎秆及苞叶相对叶片及叶鞘具有更高的瘤胃干物质及粗蛋白降解率。而李红宇^[23]发现,叶片与苞叶干物质有效降解率要高于叶鞘及茎髓。刘海燕等^[24]发现,苞叶48 h体外干物质消化率显著高于叶片、茎髓及茎皮,本研究结果与此不完全一致,可能与这些研究中玉米秸秆形态部位样品采集时期不同,从而导致营养组成具有较大差异有关。如本研究发现DM有效降解率不仅与有机物含量呈显著正相关,而且与粗蛋白及磷的含量呈显著负相关。Tang等^[25]对秋季播种的5种玉米品种完熟期秸秆叶片、叶鞘、茎秆及苞叶4个部位体外发酵研究结果,以及Tang等^[13]对春季播种的5种玉米品种乳熟期与蜡熟期秸秆叶片、叶鞘、茎秆及苞叶体外发酵研究结果表明,4个部位间体外有机物消化率都以苞叶最高,叶鞘次之,最低的为茎秆。本研究结果与其不完全一致,其原因可能是体外研究结果不能完全反映体内研究结果,二是干物质及CP有效降解率是通过公式计算得到,与实际发酵试验测得的结果也会有一定的差异。但体外体内研究结果都显示苞叶具有较高的干物质及粗蛋白有效降解率以及较高的有机物消化率。

4 结论

在蜡熟期之前,5个品种玉米秸秆叶片、叶鞘、茎秆及苞叶干物质及叶片与苞叶部位粗蛋白的快速降解部分随成熟时间的延长而上升,而慢速降解部分则随成熟时间的延长而下降,同时,延长成熟期会降低苞叶干物质及叶鞘粗蛋白有效降解率。新品种玉米秸秆具有较普通品种玉米相似或更高的干物质及粗蛋白降解特性。苞叶与茎秆部位干物质与粗蛋白快速降解比例及有效降解率相对叶片及叶鞘部位更高。

参考文献 References:

- [1] Tolera A, Sundstøl F. Morphological fractions of maize stover harvested at different stages of grain maturity and nutritive value of different fractions of the stover. *Animal Feed Science and Technology*, 1999, 81(1/2): 1—16.

- [2] Tang S, Tan Z, Zhou C, *et al.* A comparison of *in vitro* fermentation characteristics of different botanical fractions of mature maize stover. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 2006, 15(3): 505—515.
- [3] Tolera A, Sundstøl F, Said A N. The effect of stage of maturity on yield and quality of maize grain and stover. *Animal Feed Science and Technology*, 1998, 75(2): 157—168.
- [4] Pordesimo L O, Hames B R, Sokhansanj S, *et al.* Variation in corn stover composition and energy content with crop maturity. *Biomass and Bioenergy*, 2005, 28(4): 366—374.
- [5] Tolera A, Berg T, Sundstøl F. The effect of variety on maize grain and crop residue yield and nutritive value of the stover. *Animal Feed Science and Technology*, 1999, 79(3): 165—177.
- [6] Etle T, Schwarz F J. Effect of maize variety harvested at different maturity stages on feeding value and performance of dairy cows. *Animal Research*, 2003, 52(4): 337—349.
- [7] Oba M, Allen M S. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on dry matter intake and productivity of high yielding dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 1999, 82(1): 135—142.
- [8] Tjardes K E, Buskirk D D, Allen M S, *et al.* Brown midrib-3 corn silage improves digestion but not performance of growing beef steers. *Journal of Animal Science*, 2000, 78(11): 2957—2965.
- [9] Atwell D G, Jaster E H, Moore K J, *et al.* Evaluation of high oil corn and corn silage for lactating cows¹. *Journal of Dairy Science*, 1988, 71(10): 2689—2698.
- [10] Mustafa A F, Hassanat F, Berthiaume R R. In situ forestomach and intestinal nutrient digestibilities of sweet corn residues. *Animal Feed Science and Technology*, 2004, 114(1/4): 287—293.
- [11] Zhang L Y. Feed analysis and feed quality detection technology. Beijing: China Agricultural University Press, 2003.
张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.
- [12] Hall B M, Pell N A, Chase E L. Characteristics of neutral detergent-soluble fiber fermentation by mixed ruminal microbes. *Animal Feed Science and Technology*, 1998, 70(1/2): 23—39.
- [13] Tang S X, Sheng L X, Tan Z L, *et al.* Morphological fractions and *in vitro* fermentation characteristics of five endosperm types maize stover harvested at two maturity stages. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 2009, 18(3): 582—598.
- [14] Ørskov E R, McDonald I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agriculture Science*, 1979, 92(2): 499—503.
- [15] McDonald I M. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *Journal of Agriculture Science*, 1981, 96(1): 251—252.
- [16] Alderman G, Cottrill B R. Energy and protein requirements of ruminants: An advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. Wallingford: CAB International, 1993: 55.
- [17] Tan Z L. Effects of different carbohydrate and nitrogen source ratios in sheep diet on fiber digestion kinetics and its combined effect evaluation model. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 1998.
谭支良. 绵羊日粮中不同碳水化合物和氮源比例对纤维物质消化动力学的影响及其组合效应评估模型研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 1998.
- [18] Wu X P, Wu Z, Ding J, *et al.* Effect of different harvesting time and heights on nutritional components and digestibility of corn stalk. *China Feed*, 2018, 4: 35—59.
武小平, 武忠, 丁健, 等. 不同收割时间和高度对玉米秸秆营养成分和消化率的影响. 中国饲料, 2018, 4: 35—39.
- [19] Yan G L, Mu X M, Tian S F, *et al.* Comparison in straw nutritional value of Xunqing 938 corn variety harvested in different periods. *Feed Research*, 2015, 38(9): 61—63.
闫贵龙, 穆秀明, 田树飞, 等. 巡青 938 玉米品种不同收获期秸秆营养价值的比较. 饲料研究, 2015, 38(9): 61—63.
- [20] Yan G L. Study on crop factors affecting the nutritional value of straw and the effect of compound chemical treatment. Beijing: China Agricultural University, 2005.
闫贵龙. 影响秸秆营养价值的作物学因素及复合化学处理的效果研究. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [21] Xue H F, Ren L P, Meng Q X. *In vitro* fermentation kinetic analysis of the carbohydrate fractions in various types of corn stalks. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2010, 41(9): 1117—1125.
薛红枫, 任丽萍, 孟庆翔. 不同玉米秸秆类型碳水化合物组分体外发酵动态分析. 畜牧兽医学报, 2010, 41(9): 1117—1125.
- [22] Tang S X, Jiang H L, Zhou C S, *et al.* Effects of different forage species on *in vitro* gas production characteristics. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 14(3): 72—77.

汤少勋, 姜海林, 周传社, 等. 不同牧草品种对体外发酵产气特性的影响. 草业学报, 2005, 14(3): 72—77.

- [23] Li H Y. Study on nutritional value evaluation of corn straw and its fermented feed. Harbin: Northeast Agricultural University, 2014.
- 李红宇. 玉米秸秆营养价值评定及其发酵饲料的研究. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014.
- [24] Liu H Y, Wang X F, Wang Y J, *et al.* Comparison of nutrient composition, *in vitro* digestibility and available energy of different fractions of corn stalk. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2019, 51(2): 22—25.
- 刘海燕, 王秀飞, 王彦靖, 等. 玉米秸秆不同部位营养成分、体外消化率和有效能的比较. 畜牧与兽医, 2019, 51(2): 22—25.
- [25] Tang S X, Gan J, Sheng L X, *et al.* Morphological fractions, chemical composition and *in vitro* fermentation characteristics of maize stover of five genotypes. Animal, 2008, 2(12): 1772—1779.