

# 刈割对油莎豆碳氮积累以及产量和品质的影响

李变变,张凤华,徐接亮,赵亚光,汪灏然,张霁峰,郭梦瑶

(石河子大学,新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室,新疆 石河子 832003)

**摘要:**为明确刈割对油莎豆(*Cyperus esculentus* L.)地上部碳氮积累、生物量、地下部块茎产量和品质的影响,寻求适宜留茬高度,以新疆沙区油莎豆为研究对象,比较6个不同留茬高度(LC10、LC20、LC30、LC40、LC50和未刈割)下油莎豆地上部碳氮积累及产量和品质的差异。结果表明:刈割后第1天,LC50有利于叶片碳氮含量的积累,碳、氮含量分别达到22.79%和1.65%;刈割后第5天至20天,LC10和LC20叶片碳氮含量急剧下降;刈割后第5天和第10天,LC40的全碳和全氮含量高于其他处理,分别为39.78%、38.39%和1.48%、2.12%。LC40地上部干草质量和干豆质量最大,分别为4310.39 kg·hm<sup>-2</sup>和8208.90 kg·hm<sup>-2</sup>,且LC40块茎淀粉、粗蛋白、粗脂肪含量以及含油量显著高于其他处理,增幅分别为38.6%、28.8%、6.0%、22.44%,此外,该留茬高度下油莎豆块茎中不饱和脂肪酸油酸含量高达74.10%,明显高于其他处理。LC10块茎中总糖与粗灰分含量最高,分别达到44.4%和2.3%,且块茎中棕榈酸、硬脂酸、棕榈油酸、亚麻酸和亚油酸含量相对其他处理较高,分别为14.00%、2.99%、0.28%、0.42%、11.21%。综上所述,留茬高度40cm为适宜刈割高度,利于提高新疆沙区油莎豆的产量和品质。

**关键词:**油莎豆;刈割;留茬高度;碳氮积累;产量;品质

**中图分类号:**S56;S37 **文献标志码:**A

## Effects of clipping on carbon and nitrogen accumulation, yield and quality of *Cyperus esculentus* L.

LI Bianbian, ZHANG Fenghua, XU Jieliang, ZHAO Yaguang,  
WANG Haoran, ZHANG Jifeng, GUO Mengyao

(Shihezi University, Key Laboratory of Oasis Eco-Agriculture of Xinjiang Production and  
Construction Crops, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

**Abstract:** To clarify the effects of clipping on aboveground carbon and nitrogen accumulation and biomass and underground tuber yield and quality of *Cyperus esculentus* L., and further seek a suitable stubble height, in this study, we compared the carbon and nitrogen accumulation, yield, and quality of *Cyperus esculentus* L. with different stubble heights (10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm and uncut) in the sandy area of Xinjiang. The results showed that LC50 promoted the accumulation of carbon and nitrogen content in leaves on the first day after clipping, the carbon and nitrogen contents were 22.79% and 1.65%, respectively. From day 5 to 20 after clipping, the carbon and nitrogen contents of LC10 and LC20 decreased sharply. On the 5th and 10th days after clipping, the total carbon and nitrogen contents of LC40 was higher than other treatments, which were 39.78%, 38.39% and 1.48%, 2.12%, respectively. The hay weight and tuber yield of LC40 were the largest, which were 4310.39 kg·hm<sup>-2</sup> and 8208.90 kg·hm<sup>-2</sup> respectively, and the starch, crude protein, crude fat, and oil contents of LC40 in tubers were significantly higher than other treatments, which were 38.6%, 28.8%, 6.0% and 22.44% respectively. In addition, the unsaturated fatty acid oleic acid content of LC40 in tubers was as high as 74.10%, which was significantly higher than other treatments. The total sugar and crude ash contents of LC10 in tubers were significantly higher than other treatments ( $P<0.05$ ), reaching 44.4% and 2.3%, respectively. The palmitic acid, stearic acid,

arachidic acid, palmitoleic acid, linolenic acid, and linoleic acid contents of LC10 in tubers were higher than other treatments, which were 14.00%, 2.99%, 0.28%, 0.42% and 11.21%, respectively. In summary, the 40 cm stubble was a suitable clipping height, which was beneficial to improving the yield and quality of the local *Cyperus esculentus* L. .

**Keywords:** *Cyperus esculentus* L.; clipping; stubble height; carbon and nitrogen; yield; quality

碳和氮是生态系统中的两大重要元素,它们在植物体内的积累受环境和田间管理等多种因素影响<sup>[1-2]</sup>。刈割作为一种人为干扰栽培管理技术<sup>[3]</sup>,它通过减少植物叶面积、增加透光率,来影响植物碳氮物质的积累,进而促进植物分生组织以及新器官的再生生长<sup>[4]</sup>,并使植物对刈割损伤做出补偿性生长<sup>[5]</sup>。研究表明不同刈割高度会使植物的光合速率和补偿生长能力产生差异<sup>[6]</sup>,因此会影响植物地上部生物量的积累<sup>[7]</sup>。刈割对植物地上部分的影响是即时的,然而对地下生物量的影响则具有滞后性<sup>[8]</sup>,因为植物碳氮同化物的分配和积累是提高作物产量与品质的关键因素<sup>[9]</sup>,由此植物会在刈割之后通过“源-库”关系的调控,使植物体内碳、氮等物质形成新的分配格局<sup>[10]</sup>,促进植物地下块茎的生长和营养积累<sup>[11]</sup>。

油莎豆(*Cyperus esculentus* L.)于20世纪60年代引入我国,又名油莎草,属莎草科(Cyperaceae)莎草属(*Cyperus*)多年生草本植物。油莎豆具有耐刈性和再生性,不仅具有耐贫瘠等优良的植物学性状<sup>[12-13]</sup>,同时地上茎叶可作为绿肥和优质饲草等<sup>[14]</sup>,地下块茎还可作为优良的有机肥。另外,块茎中含有蛋白质、脂肪、淀粉等丰富的矿物质营养成分,以及甾类化合物、有机酸、萜类等功能性有效成分<sup>[15]</sup>。总而言之,油莎豆具有颇高的营养价值和经济价值<sup>[16]</sup>,极具开发价值。目前,许多学者通过

不同栽培措施对油莎豆地下块茎产量及品质进行了研究<sup>[17]</sup>,但关于刈割对油莎豆地上部分饲草产量和地下块茎产量及品质的研究较少<sup>[18]</sup>,刈割不仅能够解决油莎豆地上部分出现的倒伏问题,同时还可以提高油莎豆的经济价值,因此研究刈割对油莎豆叶片碳氮积累、生物量以及产量和品质的影响具有重要意义。油莎豆在国内种植范围广泛,但由于新疆独特的光、热、水土资源与原产地相似,因此油莎豆在新疆具有很大的种植潜力。

本研究以新疆沙区油莎豆为研究对象,比较不同留茬高度下油莎豆地上部分叶片碳氮积累、生物量、地下块茎产量和品质的差异,寻求其适宜的留茬高度,为新疆沙区油莎豆高产优质种植技术提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验地位于新疆喀什莎车县(地理位置处于77°07'40.25"E;38°34'12.08"N),地处天山东段北麓、准噶尔盆地南缘,平均海拔1231.2 m,属暖温带大陆性气候,年无霜期220 d左右,平均12~15℃,年日照时数2965 h,是中国日照较长的地区之一,年平均降水量56.6 mm,年均蒸发量2226 mm,日最大蒸发量可达20 mm,无霜期192 d,昼夜温差大、气候干燥、日照长,水分蒸发量大。土壤主要参数见表1。

表1 土壤主要参数

Table 1 Main soil parameters

土壤类型 Soil type	土层/cm Soil layer	有机质 Organic matter /(g·kg <sup>-1</sup> )	碱解氮 Total nitrogen /(g·kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available K /(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Available P /(mg·kg <sup>-1</sup> )	pH	电导率 Conductivity /(μs·cm <sup>-1</sup> )
沙土	0~20	4.42	1.58	117.19	26.3	9.49	167.37

### 1.2 供试材料及种植方式

本试验选用油莎豆品种为中油莎1号,采用条播机播种,行距40 cm,株距20 cm,播种深度4~5 cm,每穴2粒,刈割试验小区油莎豆种植与大田管理保持一致,2020年4月中旬播种,2020年10月上旬完成收获。

### 1.3 试验设计

试验采用单因素随机区组设计,以未刈割处理为对照组(CK),设置5个刈割留茬高度:10 cm

(LC10)、20 cm(LC20)、30 cm(LC30)、40 cm(LC40)、50 cm(LC50),试验共6个处理,每个处理设3个重复,共18个小区,每个小区面积2 m×4 m,且各小区之间保护行0.2 m×4 m,油莎豆株高达到0.7~0.8 m(出现倒伏现象<sup>[18]</sup>,处于分蘖期)进行刈割。

### 1.4 植株样品采集与测定

分别在刈割后第1天、第5天、第10天、第15天、第20天取各处理代表性叶片,105℃杀青,75℃烘干至恒重,测定各时期叶片全碳和全氮含量。

地上饲草产量测定:每个小区随机挑选  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  样方后做好标记,刈割当天记录各小区割去的鲜草和干草质量,分别记为 X1 和 G1,待收获时将地上留茬割去,记录各小区鲜草质量和干草质量,分别为 X2 和 G2。地下块茎产量测定:将地上饲草产量所挑选的  $1\text{ m}^2$  样地的油莎豆全部挖出、洗净(去除根系)擦去表面的水分,记录鲜质量,晾干后记录干质量,进行油莎豆田间产量估算。

将油莎豆晾干,磨成粉末后用于品质指标测定。气相色谱法测定油莎豆块茎中的脂肪酸组成以及含量;利用马弗炉测定粗灰分含量;萘酚比色法测定总糖含量;索氏提取法测定粗脂肪含量;半微量凯氏定氮仪测定粗蛋白;块茎淀粉含量的测定参照赵永亮(2005)的方法<sup>[19]</sup>;在对块茎样品进行脱脂后,分别使用中性洗涤剂、酸性洗涤剂和 72% 硫酸溶液去除样品中的可溶性物质,经干燥、灰化后,利用重量法得到中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)含量。

### 1.5 数据处理

采用 Origin 8 软件对数据进行处理和作图;采用 SPSS 20.0 软件对数据进行统计分析,用 Duncan 法分析处理间的差异显著性,差异显著水平是  $P < 0.05$ ;用 PCA 相关系数法进行各变量之间相关性分析;采用独立样本  $t$  检验进行刈割处理与对照组之间的差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同留茬高度对油莎豆叶片碳氮含量的影响

如图 1(A) 所示,刈割后,随着生长时间的延长,各留茬高度植物叶片中全碳含量呈现先增加后

趋于平稳的趋势。刈割后第 1 天,各留茬处理的全碳含量均与 CK 无显著差异,LC50 叶片全碳积累量明显最高,为 22.79%,较 CK 增加了 17.73%;刈割后第 5 天,LC40 全碳积累量显著最高为 39.78% ( $P < 0.05$ );刈割后第 10 天,各留茬处理全碳含量均较 CK 处理高,LC50 和 LC40 显著最高;刈割后第 15 天,除 LC50 外,其他处理叶片全碳积累量均低于 CK;刈割后第 20 天,仅 LC30 全碳积累量高于 CK,为 38.8%。

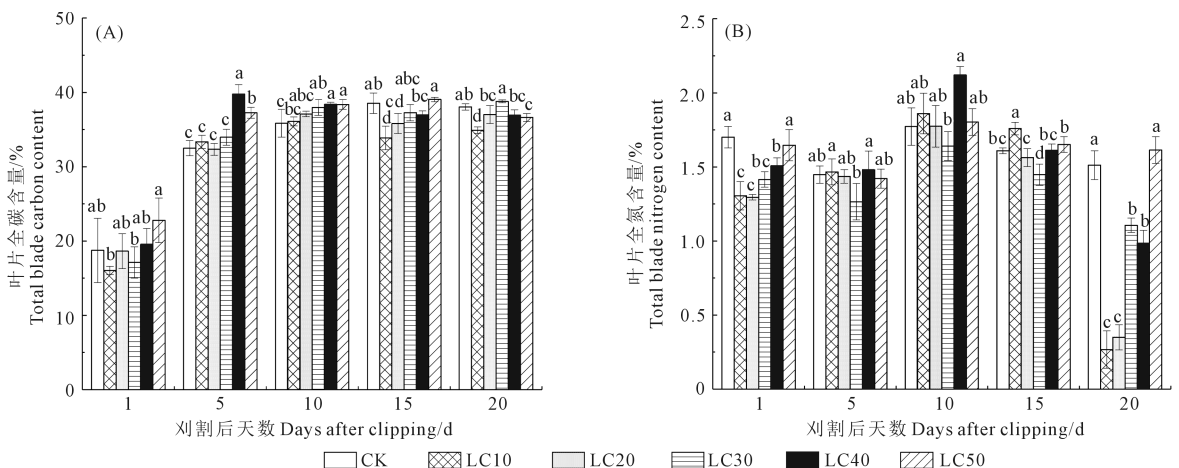
如图 1(B) 所示,刈割后,随着生长时间的延长,各处理留茬叶片全氮含量呈现先增加后降低的趋势。刈割后第 1 天,仅 LC50 全氮含量与 CK 无显著差异,其他处理均低于 CK;刈割后第 5 天,各留茬叶片全氮变化不大;刈割后第 10 天各处理全氮含量达到各时期最大值,LC40 全氮含量显著最高,为 2.12%;刈割后第 15 天,LC10 全氮含量显著最高,较 CK 显著增加 9.32% ( $P < 0.05$ );第 20 天时,LC50 全氮积累量较其他处理显著最高,为 1.61%,LC10 和 LC20 全氮含量极剧下降,分别为 0.27% 和 0.35%。

### 2.2 不同留茬高度对油莎豆地上部生物量的影响

如表 2 所示,除 LC50 之外,其他处理合计鲜草产量较 CK 显著增加,LC10 鲜草质量显著最高为  $15\ 099.08\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,各处理合计干草质量无显著差异,LC40 处理合计干草产量最大,为  $4\ 981.72\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,最低为 LC50 处理,合计干草产量为  $4\ 310.39\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

### 2.3 不同留茬高度对油莎豆块茎产量构成因子的影响

如表 3 所示,除 CK 外,随留茬高度增加各处理干豆质量、鲜豆质量、千粒重、总粒数及单穴粒数均



注:不同小写字母表示不同留茬刈割处理之间差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different stubble clipping treatments ( $P < 0.05$ ). The same below.

图 1 不同留茬高度对油莎豆叶片碳(A)氮(B)含量的影响

Fig.1 Effects of different stubble heights on the carbon (A) and nitrogen (B) content of *Cyperus esculentus* L. leaves

呈先增加后降低趋势。LC40 处理的干豆质量和千粒重与 CK 相比无显著差异,但显著高于 LC10、LC20、LC30、LC50 处理( $P<0.05$ ),分别为 8 208.9 kg · hm<sup>-2</sup>、470.03 g,而鲜豆质量、总粒数均显著高于 CK 和其他处理( $P<0.05$ ),分别为 14 841.65 kg · hm<sup>-2</sup>、1 968 万粒 · hm<sup>-2</sup>,LC30 处理较 CK 和其他处理单穴粒数最高,为 126 粒 · 穴<sup>-1</sup>。

### 2.4 不同留茬高度对油莎豆块茎品质的影响

2.4.1 不同留茬高度对油莎豆块茎营养成分含量的影响 如图 2(A) 所示,LC10 和 LC50 处理块茎

粗灰分含量显著高于 CK 和其他处理( $P<0.05$ ),且均为 2.33%,而 LC40 处理最低,为 1.8%。LC10 处理酸洗纤维含量高于其他处理,为 10.78% ( $P>0.05$ ),而 LC30 处理酸洗纤维含量较 CK 以及其他处理最低,为 9.47%。CK 中洗纤维含量最高,为 54.5%,LC30 处理含量最低,为 46.1%。

如图 2(B) 所示,LC40 处理粗脂肪含量、淀粉含量、粗蛋白、含油量均显著高于 CK 和其他处理( $P<0.05$ ),分别为 28.8%、38.63%、6.01%、22.44%。LC10 处理总糖含量显著高于 CK 和其他处理( $P<0.05$ ),

表 2 不同留茬高度对油莎豆地上部生物量的影响/(kg · hm<sup>-2</sup>)

Table 2 Effects of different stubble heights on aboveground biomass of *Cyperus esculentus* L.

处理 Treatment	刈割时 Clipping		收获时 Reward		合计 Total	
	鲜草质量 Fresh grass	干草质量 Dry grass	鲜草质量 Fresh grass	干草质量 Dry grass	鲜草质量 Fresh grass	干草质量 Dry grass
CK	0.00±0.00d	0.00±0.00e	7114.36±367.73a	4530.86±409.13a	7114.36±1024.81c	4530.86±409.13a
LC10	12605.17±1391.04a	3071.57±360.56a	2493.91±426.02b	1816.17±198.31d	15099.08±875.60a	4887.74±555.17a
LC20	6141.20±1365.82b	1587.16±317.12b	4603.13±549.67ab	3103.25±451.39c	10744.34±301.36b	4690.41±460.92a
LC30	3791.90±931.35c	1031.82±311.04c	5680.07±853.68ab	3597.06±590.15bc	9471.97±249.5b	4628.88±730.81a
LC40	2396.56±1747.72c	585.93±352.77d	7246.59±349.00a	4395.8±207.19ab	9643.15±1069.01b	4981.72±1974.42a
LC50	547.57±297.15d	158.21±97.35e	6487.58±206.19a	4152.18±506.29ab	7035.15±501.44c	4310.39±569.23a

注:同列不同小写字母表示不同留茬刈割处理之间差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between different stubble clipping treatments ( $P<0.05$ ). The same below.

表 3 不同留茬高度对油莎豆产量构成因素的影响

Table 3 Effects of different stubble heights on the yield components of *Cyperus esculentus* L.

处理 Treatment	单穴粒数	总粒数/(万粒 · hm <sup>-2</sup> )	千粒重/g	鲜豆/(kg · hm <sup>-2</sup> )	干豆/(kg · hm <sup>-2</sup> )
	Tuber number per hole	Total tubers/(10 <sup>4</sup> grains · hm <sup>-2</sup> )	1000-grain weight	Fresh beans	Dry beans
CK	110±6ab	1537±11.8b	463.27±10.68a	12885.50±1558.25b	8025.11±1750.5ab
LC10	94±10b	1160±27.5d	364.42±13.89c	9737.83±561.88d	5090.24±1122.75c
LC20	111±13a	1341±57.4c	416.65±6.97b	10648.88±773.67cd	6153.71±1009.66bc
LC30	126±15a	1349±32.4c	419.72±20.05b	11597.45±1668.98bc	6918.72±1716.71ab
LC40	123±18a	1968±19.2a	470.03±14.75a	14841.65±329.66a	8208.90±855.13a
LC50	103±10ab	1497±11.3bc	431.05±22.40b	12838.35±751.68b	6973.49±678.28ab

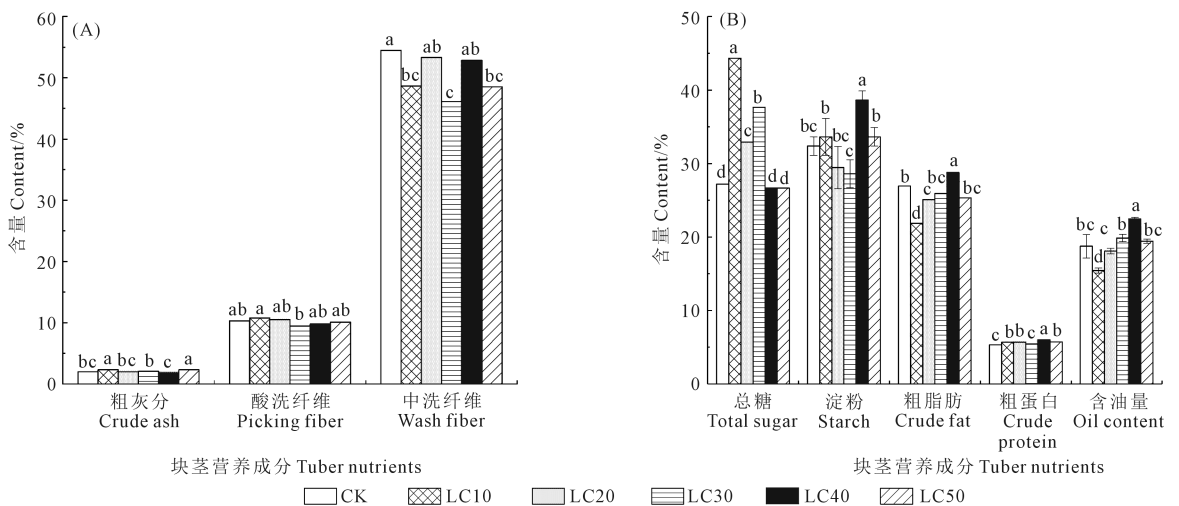


图 2 不同留茬高度对油莎豆块茎营养成分含量的影响

Fig.2 Effects of different stubble heights on the content of nutritional components of *Cyperus esculentus* L. tubers



为 44.35%,但粗脂肪含量和含油量显著低于 CK 和其他处理( $P<0.05$ ),分别为 21.87%和 15.44%。此外,CK 的粗蛋白含量、LC30 处理淀粉含量、LC50 处理总糖含量均低于其他处理,其含量分别为 5.33%、28.61%、26.65%。

2.4.2 不同留茬高度对油莎豆块茎脂肪酸含量的影响 如图 3(A)所示,LC10 处理棕榈酸含量显著高于 CK 和其他处理,为 14.00% ( $P<0.05$ ),而 LC40 处理含量最低,为 12.95%。除 CK 之外,硬脂酸含量随留茬高度升高而降低,其中 LC10 处理硬脂酸含量较其他处理最高,为 2.99% ( $P<0.05$ )。各处理花生酸含量差异不显著( $P>0.05$ )。

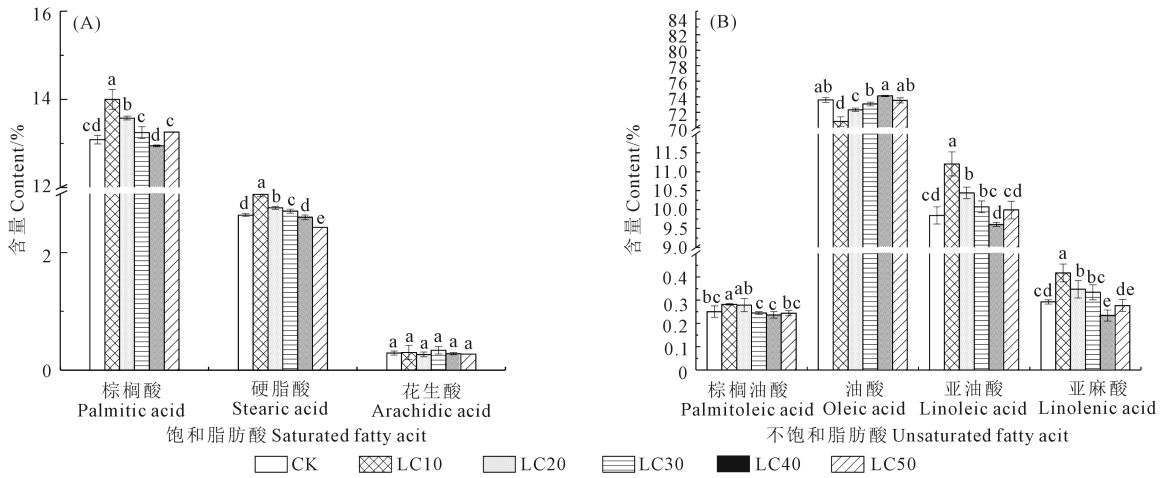


图 3 不同留茬高度对油莎豆块茎饱和脂肪酸(A)和不饱和脂肪酸(B)的影响  
Fig.3 Effects of different stubble heights on saturated fatty acids (A) and unsaturated fatty acids (B) of *Cyperus esculentus* L. tubers

量的特征。从图 4 可以看出,CK 与 LC10、LC20、LC30、LC40 和 LC50 明显分开,其中 CK 与 LC10 距离最远,但与 LC20、LC30、LC40 和 LC50 距离较近。这表明刈割对油莎豆块茎品质具有影响,其中 LC10 影响最大。CK、LC10 和 LC40 处理油莎豆块茎品质在 PC1 上具有差异,说明这 3 个处理的油莎豆块茎品质间差异较大。而 LC20、LC30 和 LC50 处理油莎豆块茎品质在 PC1 上没有差异,说明三者之间油莎豆块茎品质间差异较小。

为进一步确定不同指标对各主成分的解释变量,从主成分因子载荷图 5 和表 4 可以看出 13 种指标对前两个主成分的贡献率。对于 PCA1 贡献较大的为粗脂肪、含油量、棕榈酸、油酸、亚油酸、亚麻酸,而对 PCA2 贡献较大的为中洗纤维。这表明对油莎豆块茎品质起分异作用的品质指标为粗脂肪、含油量、棕榈酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、中洗纤维,即刈割对油莎豆块茎品质的差异主要体现在粗脂肪、含油量、棕榈酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、中洗纤维

如图 3(B)所示,LC10 棕榈油酸含量较其他处理最高,LC40 处理油酸含量高于 CK 和其他处理,达到 74.10%,LC10 处理油酸含量最低,为 70.81%。LC10 处理亚油酸和亚麻酸含量显著高于 CK 和其他处理( $P<0.05$ ),分别是 11.21%和 0.42%,LC40 处理亚油酸和亚麻酸含量最低,分别是 9.61%和 0.23%。

2.4.3 不同留茬高度对油莎豆块茎品质的主成分分析 对不同刈割留茬高度下 13 种品质指标影响情况进行主成分分析(图 4),共提取两个主成分,第一主成分(PCA1)和第二主成分(PCA2)分别可以解释所有变量的 56.63%和 31.44%,两个主成分累计方差贡献率达到 88.07%,可以较全面概括 13 个变

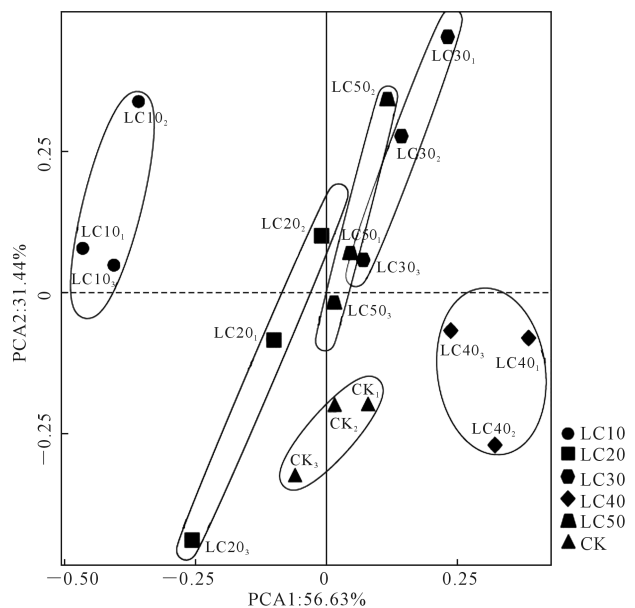


图 4 不同留茬高度对油莎豆块茎品质的主成分分析  
Fig.4 Principal component analysis of different stubble heights on the quality of *Cyperus esculentus* L. tubers

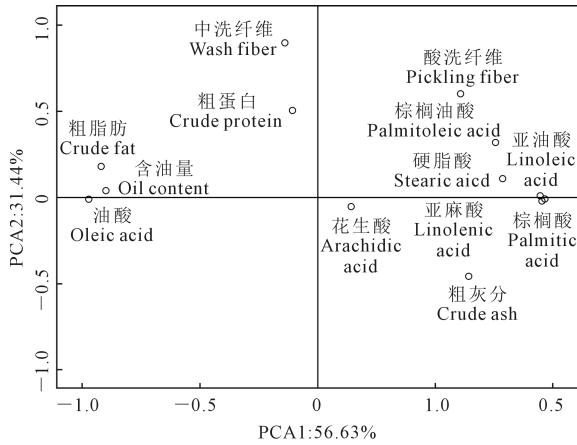


图 5 13 种品质指标对 PCA1 和 PCA2 贡献的特征向量系数

Fig.5 Eigenvector coefficients of 13 quality indicators contributing to PCA1 and PCA2

表 4 油莎豆 13 种品质指标的因子载荷值

Table 4 Factor loading values of 13 quality indicators of *Cyperus esculentus* L.

品质类型 Quality type	主成分 1 PCA1	主成分 2 PCA2
粗灰分 Crude protein	0.641	-0.457
中洗纤维 Wash fiber	-0.140	0.897
酸洗纤维 Pickling fiber	0.607	0.601
粗蛋白 Crude protein	-0.108	0.505
粗脂肪 Crude fat	-0.921	0.180
含油量 Oil content	-0.901	0.040
棕榈酸 Palmitic acid	0.953	-0.021
硬脂酸 Stearic acid	0.786	0.109
花生酸 Arachidic acid	0.142	-0.053
棕榈油酸 Palmitoleic acid	0.755	0.319
油酸 Oleic acid	-0.974	-0.010
亚油酸 Linoleic acid	0.965	-0.009
亚麻酸 Linolenic acid	0.945	0.010

上,其中粗脂肪、含油量、棕榈酸、油酸、亚油酸和亚麻酸尤为突出。

### 3 讨论

刈割不仅影响植物的形态结构,还对植物的物质积累和生理生态等存在影响。本研究表明确割使得油莎豆叶片中碳氮物质的积累产生差异。刈割后第 1 天,留茬 50 cm 叶片碳氮积累量高于其他处理;随着生长时间的延长,各处理叶片碳氮积累量呈先升高后下降最后趋于平稳的趋势,由此可说明,轻度刈割促进了植物的物质积累,提高了植物的修复能力,重度刈割则影响植物的物质储备和消

耗<sup>[20]</sup>。Dovel 等<sup>[21]</sup>研究表明适当的刈割能促进饲草产量的增加。本研究与其结论一致,留茬 40 cm 油莎豆地上生物量最高,为 6 567.15 kg · hm<sup>-2</sup>。形成这一结果一方面由于:刈割后植物残茬部分截获大量光能,有效光合作用提高<sup>[22]</sup>,促进了植物体内碳氮含量的积累<sup>[23]</sup>,进而影响了植物的初级生产力<sup>[24]</sup>;另一方面是由于植物受到机械损伤后代谢产物和代谢途径发生变化<sup>[25]</sup>,造成植物残茬和根系中碳、氮的分配差异<sup>[10,26]</sup>,使得植物资源的分配和补给具有倾向性<sup>[27]</sup>,因此植物应对损伤胁迫的能力得到提高,并使植物保持相对较高的物质积累量。

地上部分生物量的形成是光合产物积累与分配的过程,而地下产量的形成则取决于源库关系的调控<sup>[9]</sup>。Zhang、Wei 等<sup>[28-29]</sup>研究表明,放牧(刈割)促进羊草地上部生物量向地下部生物量的转移。本研究留茬 40 cm 油莎豆地下产量最高,为 8 208.9 kg · hm<sup>-2</sup>,这或许是因为在留茬 40 cm 下,油莎豆体内源库资源的协调分配,使植物抗刈割干扰的缓冲能力增强<sup>[6]</sup>,增加了向地下块茎分配的资源,将更多的能量及化合物转移到块茎<sup>[11]</sup>,另一方面可能是刈割解除了油莎豆地上部分的顶端优势及有性生殖,改变了油莎豆的生长及生殖模式,影响了地下物质的积累<sup>[29]</sup>。孙毅等<sup>[30]</sup>研究发现刈割会使植株大量叶片损伤,干扰植物对光的截取以及光合作用的进行,进一步限制植物的再生和地下营养器官的发育,影响生物量的积累。刈割后植物的留茬部分和地下部分贮藏的营养物质密切相关<sup>[31]</sup>;刈割强度过大一方面会影响植物的物质分配,另一方面会使植物调动地下营养物质储量,同时还会削弱物质向地下部分的转移和积累<sup>[32]</sup>。

因此,本研究油莎豆块茎产量随刈割留茬高度的降低而逐渐降低,其中一方面可能是刈割导致光合叶面积减少,地上残茬和根系部分碳氮物质积累较少,减少了向地下块茎的运转,使其养分利用效率降低,最终导致产量下降<sup>[33]</sup>;另一方面:刈割影响了植物根区土壤环境,使土壤酶活性以及微生物数量减少<sup>[34]</sup>,由此造成植物地下养分汲取减少,使得地下块茎产量下降。

本研究通过对不同留茬高度地下块茎品质主成分分析,发现刈割对油莎豆粗脂肪、含油量、不饱和脂肪酸等影响较大,其中留茬高度 40 cm 块茎中淀粉、粗脂肪、粗蛋白含量和含油量显著高于其他处理,留茬 10 cm 总糖含量显著最高。有研究表明,

脂肪酸在植物应对机械损伤方面具有重要作用<sup>[35]</sup>,主要是通过不饱和脂肪酸来调节植物对非生物胁迫的适应能力<sup>[36-37]</sup>,其中本研究留茬40 cm下油莎豆块茎中因为脂肪酸总量和油酸含量的增加增强了油莎豆自身的修复能力,进一步提高了油莎豆的产量和品质。

## 4 结 论

刈割对油莎豆叶片碳氮积累、生物量、块茎产量和品质存在影响。轻度和中度刈割(LC50、LC40和LC30)有利于叶片碳氮含量的积累。留茬40 cm地上部生物量高于其他各处理,达到4 981.72 kg·hm<sup>-2</sup>。留茬40 cm油莎豆产量、块茎中的含油量、油酸含量、粗脂肪含量、淀粉含量、粗蛋白含量均高于其他处理。综上所述,刈割留茬40 cm左右为相对适宜的刈割高度,有利于提高新疆沙区油莎豆的产量和品质。

## 参 考 文 献:

[1] 阮新民,施伏芝,罗志祥.施氮对高产杂交水稻生育后期叶碳氮比与氮素吸收利用的影响[J].中国土壤与肥料,2011,(2):35-38.  
RUAN X M, SHI F Z, LUO Z X. Effects of nitrogen application on the leaf of C/N and nitrogen uptake and utilization at later developmental stages in different high yield hybrid rice varieties[J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2011,(2): 35-38.

[2] 成欣,杜娟,谢小玉,等.保护性耕作措施对轮作蚕豆碳氮积累及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2021,39(5):160-168.  
CHENG X, DU J, XIE X Y, et al. Effects of conservation cultivation measures on carbon nitrogen accumulation and yield of rotation broad bean[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2021, 39(5): 160-168.

[3] NIU S L, SHERRY R A, ZHOU X H, et al. Ecosystem carbon fluxes in response to warming and clipping in a tallgrass prairie[J]. Ecosystems, 2013, 16(6): 948-961.

[4] LENNARTSSON T, NILSSON P, TUOMI J. induction of overcompensation in the field gentian, *Gentiana campestris*[J]. Ecology, 1998, 79(3): 1061-1072.

[5] GARCÍA I, MENDOZA R. Impact of defoliation intensities on plant biomass, nutrient uptake and arbuscular mycorrhizal symbiosis in lotus tenuis growing in a saline-sodic soil[J]. Plant Biology (Stuttgart, Germany), 2012, 14(6): 964-971.

[6] 王丹丹,田莉华,沈禹颖,等.不同品种冬小麦再生生长对刈割干扰的响应[J].中国生态农业学报,2014,22(6):642-647.  
WANG D D, TIAN L H, SHEN Y Y, et al. Regrowth responses to cutting of different cultivars of winter wheat[J]. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2014, 22(6): 642-647.

[7] 王茜,杨丽群,雷家运,等.刈割高度对冬小麦再生及生物量分配的影响[J].草业科学,2017,34(10):2109-2116.

WANG Q, YANG L Q, LEI J Y, et al. Regrowth and biomass allocation of dual-purpose winter wheat under two clipping heights[J]. Pratacultural Science, 2017, 34(10): 2109-2116.

[8] SU J S, JING G H, JIN J W, et al. Identifying drivers of root community compositional changes in semiarid grassland on the loess plateau after long-term grazing exclusion[J]. Ecological Engineering, 2017, 99: 13-21.

[9] 侯扶江.放牧对牧草光合作用、呼吸作用和氮、碳吸收与转运的影响[J].应用生态学报,2001,12(6):938-942.  
HOU F J. Effect of grazing on photosynthesis and respiration of herbage and on its absorption and transporation of nitrogen and carbon[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(6): 938-942.

[10] 杨惠敏,王振南,吉春荣.刈割和放牧后牧草碳氮动态研究进展[J].中国草地学报,2013,35(4):102-109, 120.  
YANG H M, WANG Z N, JI C R. Research progress in the dynamics of carbon and nitrogen in forages after cutting and grazing[J]. Chinese Journal of Grassland, 2013, 35(4): 102-109, 120.

[11] 宋智芳,安沙舟,孙宗玖.刈割和放牧条件下伊犁绢蒿生物量分配特点[J].草业科学,2009,26(12):118-123.  
SONG Z F, AN S Z, SUN Z J. Biomass allocation patterns of *Seriphidium transiliense* under clipping and grazing conditions[J]. Pratacultural Science, 2009, 26(12): 118-123.

[12] LASEKAN O, ABDULKARIM S M. Extraction of oil from tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) with supercritical carbon dioxide (SC-CO<sub>2</sub>) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 47(2): 287-292.

[13] BAMISHAIYE E I, BAMISHAIYE O M. Tiger nut: as a plant, its derivatives and benefits[J]. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development, 2011, 11(5): 16845358.

[14] 黄明华,王学华,庞震宇.油莎豆的研究现状及展望[J].作物研究,2013,27(3):293-295, 301.  
HUANG M H, WANG X H, PANG Z Y. Research status and prospect of *Cyperus esculentus* L.[J]. Crop Research, 2013, 27(3): 293-295, 301.

[15] 陈星,陈滴,刘蕾.油莎豆全成分分析[J].食品科技,2009,34(3):165-168.  
CHEN X, CHEN D, LIU L. *Cyperus esculentus* whole component analysis[J]. Food Science and Technology, 2009, 34(3): 165-168.

[16] 晏小欣,任志艳,相恒绪,等.油莎豆的有效成分的定性分析[J].中国酿造,2010,(8):150-151.  
YAN X X, REN Z Y, XIANG H X, et al. Qualitative analysis of effective constituents of *Cyperus esculentus*[J]. China Brewing, 2010, (8): 150-151.

[17] 孙佳尧,李志刚,孟祥军,等.氮肥处理下油莎豆叶片生理特性和籽粒品质与产量相关研究[J].内蒙古民族大学学报(自然科学版),2020,35(4):327-332.  
SUN J Y, LI Z G, MENG X J, et al. Correlation between leaf physiological characteristics, grain quality and yield of *Cyperus esculentus* under nitrogen treatment[J]. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities (Natural Sciences), 2020, 35(4): 327-332.

[18] 沈庆雷.油莎豆高产优质栽培初步研究[D].扬州:扬州大学,2010.  
SHEN Q L. A preliminary studies on high yield and quality cultivation

- in Chufa[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2010.
- [19] 赵永亮.一种同时测定小麦种子中直链淀粉、总淀粉含量的新方法-微量分光光度法[J].食品与发酵工业,2005,31(8):23-26.  
ZHAO Y L. A novel micro-amount method with spectrophotometer to determine amylose and total starch content of wheat seeds[J]. Food and Fermentation Industries, 2005, 31(8): 23-26.
- [20] 李金花,李镇清,刘振国.不同刈牧强度对冷蒿生长与资源分配的影响[J].应用生态学报,2004,15(3):408-412.  
LI J H, LI Z Q, LIU Z G. Growth and resource allocation pattern of *Artemisia frigida* under different grazing and clipping intensities[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(3): 408-412.
- [21] DOVEL R L. Cutting height effects on wetland meadow forage yield and quality[J]. Journal of Range Management, 1996, 49(2): 151-156.
- [22] 刘景辉,赵宝平,焦立新,等.刈割次数与留茬高度对内农1号苏丹草产草量和品质的影响[J].草地学报,2005,13(2):93-96, 110.  
LIU J H, ZHAO B P, JIAO L X, et al. Effect of different clipping frequencies and stubble height on the yield and quality of *Sorghum sudanense* stapf. cv. Neinong No.1[J]. Acta Agrestia Sinica, 2005, 13(2): 93-96, 110.
- [23] LATT C R, NAIR P K R, KANG B T. Interactions among cutting frequency, reserve carbohydrates, and post-cutting biomass production in *Glyceria sepium* and *Leucaena leucocephala*[J]. Agroforestry Systems, 2000, 50(1): 27-46.
- [24] CORUZZI G, BUSH D R. Nitrogen and carbon nutrient and metabolite signaling in plants[J]. Plant Physiology, 2001, 125(1): 61-64.
- [25] CHEN Q, LU X Y, GUO X R, et al. A source-sink model explains the difference in the metabolic mechanism of mechanical damage to young and senescing leaves in *Catharanthus roseus*[J]. BMC Plant Biology, 2021, 21(1): 154.
- [26] GADGIL M, BOSSERT W H. Life historical consequences of natural selection[J]. The American Naturalist, 1970, 104(935): 1-24.
- [27] FERNIE A R, BACHEM C W B, HELARIUTTA Y, et al. Synchronization of developmental, molecular and metabolic aspects of source-sink interactions[J]. Nature Plants, 2020, 6(2): 55-66.
- [28] ZHANG Y, SHAO X, CHEN C, et al. Morphological characteristics and biomass allocation of *Leymus chinensis* (Poaceae) (Trin.) responses to long-term overgrazing in agro-pastoral ecotone of Northern China[J]. Journal of Animal and Plant Sciences, 2013, 23(3): 933-938.
- [29] ZHAO W, CHEN S P, HAN X G, et al. Effects of long-term grazing on the morphological and functional traits of *Leymus chinensis* in the semi-arid grassland of Inner Mongolia, China[J]. Ecological Research, 2009, 24(1): 99-108.
- [30] 孙毅,闫兴富,周立彪.叶片损伤和刈割处理对柠条幼苗补偿生长的影响[J].中国草地学报,2016,38(6):53-59.  
SUN Y, YAN X F, ZHOU L B. Effects of leaf damage and cutting treatment on the compensatory growth of *Caragana korshinskii* seedlings[J]. Chinese Journal of Grassland, 2016, 38(6): 53-59.
- [31] DONAGHY, FULKERSON. Priority for allocation of water-soluble carbohydrate reserves during regrowth of *Lolium perenne*[J]. Grass & Forage Science, 1998, 53(3): 211-218.
- [32] NZUNDA E F, GRIFFITHS M E, LAWES M J. Sprouting by remobilization of above-ground resources ensures persistence after disturbance of coastal dune forest trees [J]. Functional Ecology, 2008, 22(4): 577-582.
- [33] 高英志,景馨,王新宇.放牧和刈割对草原地下净生产力和根系周转的影响[J].西南民族大学学报(自然科学版),2017,43(2): 111-117.  
GAO Y Z, JING X, WANG X Y. Impact of grazing and clipping on grassland belowground net primary productivity and root turnover[J]. Journal of Southwest University for Nationalities (Natural Science Edition), 2017, 43(2): 111-117.
- [34] 章家恩,刘文高,陈景青,等.不同刈割强度对牧草地上部和地下部生长性状的影响[J].应用生态学报,2005,16(9):1740-1744.  
ZHANG J E, LIU W G, CHEN J Q, et al. Effects of different cutting intensities on above- and underground growth of *Stylosanthes guianensis*[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(9): 1740-1744.
- [35] BALA K, SOOD A K, PATHANIA V S, et al. Effect of plant nutrition in insect pest management: a review[J]. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 2018, 7(4): 2737-2742.
- [36] 刘文献,刘志鹏,谢文刚,等.脂肪酸及其衍生物对植物逆境胁迫的响应[J].草业科学,2014,31(8):1556-1565.  
LIU W X, LIU Z P, XIE W G, et al. Responses of fatty acid and its derivatives to stress in plants[J]. Pratacultural Science, 2014, 31(8): 1556-1565.
- [37] UPCHURCH R G. Fatty acid unsaturation, mobilization, and regulation in the response of plants to stress [J]. Biotechnology Letters, 2008, 30(6): 967-977.