

藜麦地上部干物质积累特征及饲用品质分析

许瑞¹,周祯莹²,刘敏国^{3*}

(1. 兰州市七里河区农业农村局,甘肃 兰州 730050;2. 兰州财经大学,甘肃 兰州 730050;
3. 兰州大学草地农业科技学院,甘肃 兰州 730050)

摘要:【目的】随着畜牧业的快速发展,对家畜饲料供应的需求不断增加。在西北干旱地区,迫切需要新的牧草作物提供新的饲料来源,而藜麦(*Chenopodium quinoa*)是一种极有潜力的新兴作物。【方法】于2015—2016年在张掖市开展藜麦生长特性和最优饲用时期的研究,测量了藜麦不同生长阶段地上部干物质积累和分配动态、相对含水率动态、快速生长阶段的日株高增加量及饲用品质,分析了藜麦的生长动态特征,探索了藜麦最优的饲用时期。【结果】藜麦至显序期后,进入快速生长阶段,干物质积累迅速,株高日增长量最大,达10 cm/d。随藜麦生长,茎所占的比例始终低于50%,叶和花序在地上部占有重要的比例。使用TOPSIS方法,综合藜麦的干物质积累动态和饲用品质动态特征确定了最优的饲用时期为盛花期至灌浆期之间。同时,发现相比藜麦籽实,其加工后的麸皮具有更高的矿质元素。【结论】在试验地区,藜麦盛花期及灌浆期的地上部和加工后的麸皮是一种有潜力的饲料来源。

关键词:藜麦;生长特征;饲用品质;饲用潜力;TOPSIS分析

中图分类号:S519 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2023)04-0090-07

DOI:10.13817/j.cnki.cyycp.2023.04.012



近几十年来,随着国民经济不断发展,人们对畜产品的需求与日俱增,畜牧业得到快速发展^[1]。饲草供给是畜牧业发展的基础,然而我国畜牧业主要分布在北方干旱和半干旱地区,严酷的气候和土壤条件(干旱、低温、盐碱、贫瘠等)限制着饲草作物的生长,制约了饲草产业的发展^[2]。为促进牧区饲草产业发展,饲草多元化被认为是一种重要的措施,引进具有较强环境适应能力的高产优质的新型饲草作物对提升该地区的饲草生产具有重要的意义^[1-2]。近年来,许多新型作物被引进和培育以满足饲草生产的需求,其中藜麦(*Chenopodium quinoa*)作为一种极有潜力的作物被大力推广^[3-4]。

藜麦原产于南美洲,为苋科(Amaranthaceae)藜属(*Chenopodium*)一年生草本植物,距今已有5000多年的历史^[5]。由于其强大的环境适应能力和丰富的营养价值,近年来被国内外广泛关注和推广^[6]。许多研究表明,藜麦对极端的生态环境具有强大的适应能力,在许多恶劣的环境条件下(如干旱、霜冻、土壤盐分 and 高温等)具有明显的优势^[6]。藜麦的籽实富含丰富的营养成分,粗蛋白高达10%~18%,氨基酸比例均衡,同时富含丰富的有益微量元素如钾、铜、锌、铁、钙和人体必须的许多维生素^[8]。为强调藜麦在保障粮食安全方面的潜在优势,联合国粮食和农业发展组织(FAO)将2013年定为“国际藜麦年”,在全球范围内推广藜麦^[9]。因此,藜麦是一种极有潜力的粮食作物。

藜麦在收获籽实后,残余大量的秸秆、麸皮等成分,为充分利用这些残余物,安第斯土著居民在很早之前就尝试将收获籽实之后的藜麦残余物用于饲喂家禽^[10]。研究表明,藜麦的籽实富含丰富的蛋白质,可用于改善饲料的蛋白质含量和氨基酸水平^[5],而麸皮的蛋白质含量比籽实更高^[11]。与其他牧草作物如

收稿日期:2022-07-18;修回日期:2022-08-27

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(lzujbky-2016-187)

作者简介:许瑞(1995-),女,江苏扬州人,助理农艺师,硕士,研究方向为农业技术推广。

E-mail:1395769710@qq.com

*通信作者。E-mail:liumg15@lzu.edu.cn

燕麦(*Avena sativa*)、大麦(*Hordeum vulgare*)相比,藜麦秸秆在饲喂绵羊时表现出相近的饲用潜力^[11]。研究也发现,花期的青藜麦干物质能达10 t/hm²,蛋白质可达15%,至乳熟期藜麦地上部包含16种必须氨基酸且明显高于苜蓿(*Medicago sativa*)^[11]。青贮也是藜麦作为饲草的重要方式,研究表明,青贮藜麦在饲喂奶牛上具有良好的潜力^[13]。另一方面,有些藜麦品种具有刈割再生的能力,在适宜的时期刈割藜麦能够获得更高的饲用品质和更多的干物质产量^[3]。因此,藜麦具有良好的饲用潜力。

尽管近年来研究人员开始关注藜麦在寒冷、干旱地区的饲用潜力的挖掘,但是在什么时期收获藜麦能够最大程度地平衡藜麦的干物质积累和饲用品质之间的关系尚不明确。另一方面,尽管藜麦在干物质积累上具有明显的优势,但对藜麦在生长过程中的干物质积累速度和分配动态方面的认识尚有不足。因此本研究主要针对藜麦的干物质积累过程、分配动态及最优的饲用时期开展相关研究。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

本试验于2015—2016年在甘肃省张掖市民乐县六坝镇(N 38°38'30", E 100°43'24", 海拔1 820 m)开展,该地属大陆性荒漠草原气候,年均气温4.2℃、年均降水量233 mm,年均无霜期140 d。土壤为沙壤土,土壤中铵态氮、硝态氮、速磷和速钾含量分别为1.5、6.2、3.0和111 mg/kg。

1.2 试验设计

试验中所使用的材料为民乐县西北堂藜麦科技有限公司自主提纯、培育的藜麦品种OR130。该品种在河西走廊的生长期约130 d,82 d左右进入盛花期,90 d左右进入灌浆期,株高约170 cm。于2015年4月1日和2016年4月22日种植,播种深度为2 cm,播种量为5.25 kg/hm²,株距20 cm,尿素和磷酸二铵为底肥,施用量分别为75 kg/hm²和450 kg/hm²。覆黑色塑料膜以抑制杂草和保持土壤水分。该地区为灌区,除播种前灌水外,于花期进行二次灌水。

1.3 取样与方法

两年中分别于藜麦显序期(Bud formation, BF)、显序期后15或20 d(BF15/BF20)、盛花期(Flowerig

FL)、灌浆期(Grain filling, GF)和成熟期(Maturity, T)收获藜麦植株地上部。取12株长势相近的藜麦,分成两组,一组将每株藜麦全株切成小段装入大信封袋,另一组对每一株进行茎、叶和花序分离并分别放入大自封袋中。所有样品先在烘箱中105℃杀青30 min和75℃烘干48 h,称干重。地上部植株相对含水率根据鲜重和干重计算。称完干重,粉碎、过筛带回实验室进行粗蛋白、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维及多种矿质元素的测定,测量方法和计算公式参见刘敏国等^[16]的方法。

为监测藜麦株高的日增长量,于2015年藜麦进入快速生长阶段使用标签标记20株藜麦,于每天下午17:00分别测量株高,株高为花序顶部至土壤的垂直高度。

1.4 统计与分析

所有统计分析和绘图都在统计软件R中进行。使用TOPSIS方法将不同生长阶段的藜麦地上部饲用品质指标综合为品质得分,并与干物质积累进行标准化处理,基于干物质积累和品质得分动态确定适宜的刈割时间。

2 结果与分析

2.1 藜麦地上部干物质积累和分配动态

图1表明logistic生长模型能很好反映藜麦地上部干物质积累过程($R^2 > 0.9$)。在两年中藜麦的地上部干物质积累过程都表现出“S型”的生长趋势,最高的干物质质量2015年是7 212 kg/hm²,2016年是7 298 kg/hm²。2015年从62 d开始进入快速生长阶段至99 d后积累速度逐渐下降,2016年从47 d开始进入快速生长阶段至77 d后积累速度逐渐下降,快速生长阶段的持续时间分别是30和36 d,快速生长阶段的平均生长速度分别是113和139 kg/hm²。

2015—2016年中,随着藜麦的生长,茎的干物质占比相对稳定,2015年占比为0.3~0.5,以盛花期的占比最高,2016年占比为0.41~0.5,以显序期后15 d占比最高。叶片的占比随生长逐渐降低,在显序期两年的占比分别是0.59和0.57,到成熟期甚至降为0。花期花序占干物质构成比重较大,并随藜麦生长占比逐渐增加,最后取代叶片(图2)。

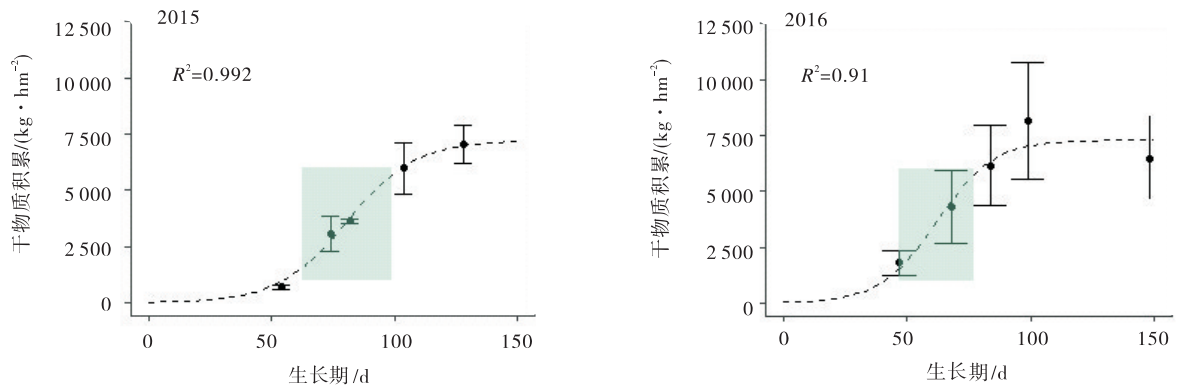


图1 藜麦地上部干物质积累

Fig. 1 Dry matter accumulation of shoot in quinoa

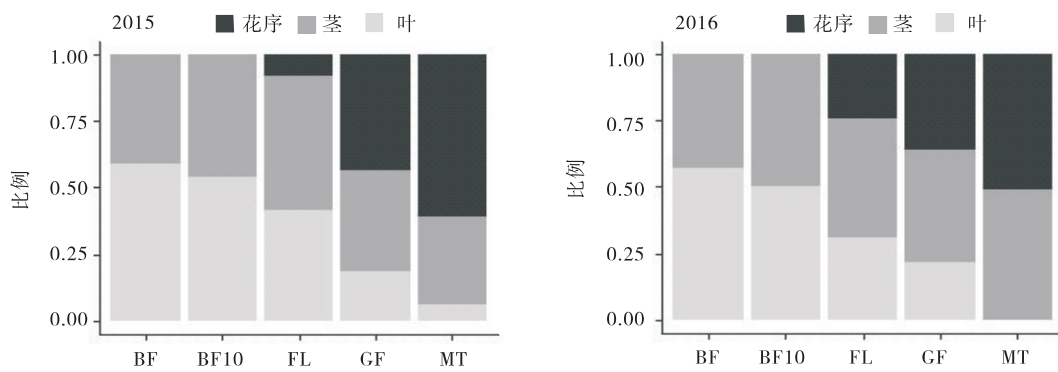


图2 藜麦地上部干物质分配动态

Fig. 2 Distribution dynamics of dry matter of shoot in quinoa

注:BF 显序期;BF20和BF15 显序期后 20 d 和 15 d;FL 花期;GF 灌浆期;MT 成熟期。下同

2.2 藜麦地上部相对含水率动态

在两年中随着藜麦的生长地上部相对含水率呈降低趋势,且不同生长阶段差异显著。2015、2016年中显序期地上部相对含水率分别为0.89和0.88,之后

相对含水率开始下降,盛花期分别减少至0.83,0.76,灌浆期分别减少至0.76,0.78,到收获期,地上部分相对含水率分别降低至0.61和0.63(图3)。

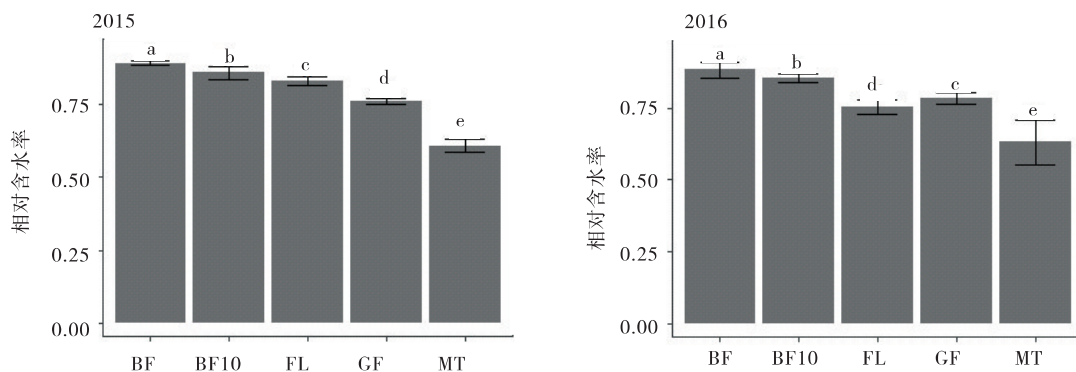


图3 藜麦地上部相对含水率动态。

Fig. 3 Dynamics of relative plant water content of shoot in quinoa

2.3 藜麦株高日增长动态特征

2015年从出苗后66 d开始至80 d,藜麦株高增加量集中在5 cm/d,甚至有部分植株株高增加量超过

10 cm/d。出苗80 d后快速下降,到90 d后仅有零星的部分植株株高增加,大部分的植株株高不再增加。空白区域为由于降水或灌溉的原因造成的株高数据

的缺失(图 4)。

2.4 藜麦地上部干物质积累和品质指标的相关性分析

分别对 2015 年和 2016 年藜麦地上部的干物质积累和品质特征进行主成分分析,两年中前两个主成分轴的累积解释率都超过 80%,其中 2015 年为 84.6%,2016 年为 90.2%。两年中干物质积累都与中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)含量之间存在明显的正相关关系,与粗蛋白(CP)含量、相对饲用价值(RFV)及 P、K 等矿质元素含量之间存在明显的负相关关系。P、K、Ca、CP 含量、RFV 指标间存在明显的

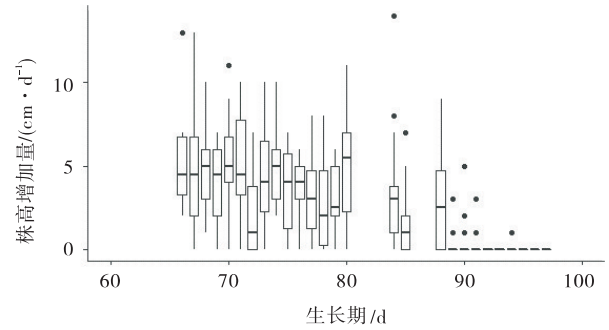
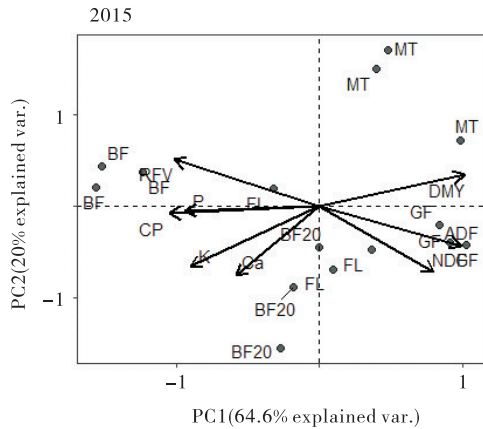


图 4 藜麦每日株高增加量变化

Fig. 4 Changes in daily plant height increase of quinoa

正相关关系。随着生长,藜麦地上部的品质逐渐降低,干物质积累逐渐增加(图 5)。

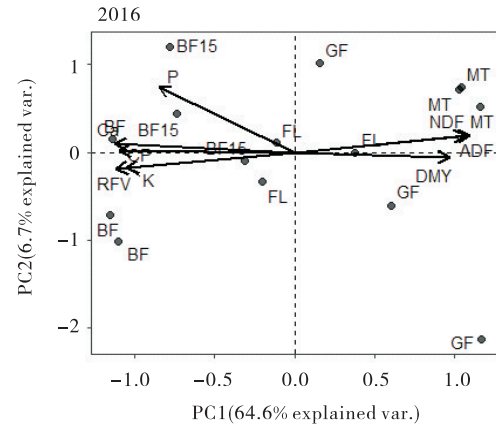


图 5 藜麦地上部干物质积累和品质指标的主成分分析

Fig. 5 Principal component analysis of dry matter and quality indexes of shoot in quinoa

注:DMY 干物质积累;NDF 中性洗涤纤维;ADF 酸性洗涤纤维;RFV 相对饲用价值;CP 粗蛋白;K 钾;Ca 钙;P 磷

2.5 藜麦地上部最优饲用阶段确定

本研究中使用基于 TOPSIS 方法将多个品质指标整合成一个品质特征的综合得分,结合干物质积累特征评价两年中不同生长阶段的藜麦地上部分饲用潜力的变化趋势。对两个指标标准化处理后绘制干物质积累和品质特征的生长动态曲线,结果表明随着生长干物质积累逐渐增加,饲用品质逐渐降低,并都在 90 d 左右两个曲线相交,对应生长阶段为盛花期至灌浆期之间(图 6)。

2.6 藜麦种子和麸皮的营养分析

藜麦种子的粗蛋白含量达 17%,富含 K、TP、Ca 和 Mg,含量分别达 15 690、3 660、1 332 和 4 748 mg/kg。具有相对较高的 Fe 和 Zn 含量,分别达 312.9 mg/kg 和 87 mg/kg。麸皮同样具有高的粗蛋白含量,为 16.5%。具有更高的 K、Ca 和 Mg 含量,分别为 38 115、6 218 和 10 391 mg/kg。其他矿质元素含量

与种子的含量相近(表 1)。

3 讨论

3.1 藜麦的生长特征分析

藜麦具有丰富的形态和遗传多样性,在生育期、株型、株高、花序形状、颜色等诸多农艺性状上表现出明显的多样性^[14-15]。目前藜麦的主栽品种生育期为 90~180 d,本研究所使用的藜麦品种的生育期在 130 d 左右。藜麦的生长过程表现出明显的 S 型生长特征,本研究中前 50 d 干物质积累缓慢,50~100 d 藜麦的干物质积累进入快速阶段,100 d 之后恢复平缓。刘敏国等^[16]认为藜麦干物质积累过程的差异与其体内对 C、N、P 元素的利用有关并与 N:P 化学计量比存在显著的正相关关系。在本研究中我们同时分析了不同生长阶段的藜麦地上部干物质的分配动态,发现在不同生长阶段中藜麦茎的干物质积累占比相对稳

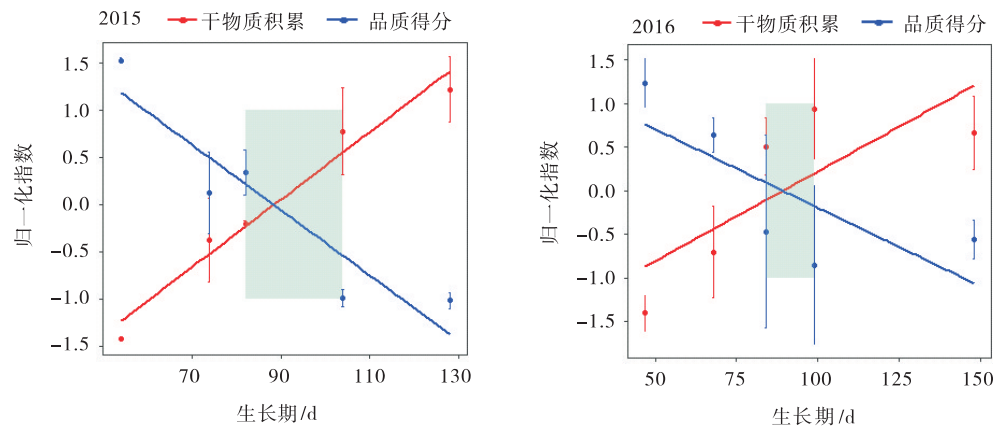


图6 藜麦生长过程中的干物质积累和品质变化曲线

Fig. 6 Variation curve of dry matter and feeding quality during the growth of quinoa

表1 藜麦种子和麸皮的饲用品质特征

Table 1 Feeding quality characteristics of seeds and brans of quinoa

部分	CP/%	ADF/%	NDF/%	K/ (mg·kg ⁻¹)	P/ (mg·kg ⁻¹)	Ca/ (mg·kg ⁻¹)	Cu/ (mg·kg ⁻¹)	Fe/ (mg·kg ⁻¹)	Mg/ (mg·kg ⁻¹)	Mn/ (mg·kg ⁻¹)	Na/ (mg·kg ⁻¹)	Zn/ (mg·kg ⁻¹)
2015 麸皮	16.5±0.4	22.5±1.4	47.4±1.3	38 115±714	2 605±931	6 218±846	18.0±0.4	541.6±153.8	10 391±599	20.5±3.9	167.5±69	84.1±4
	17.1±2.3	10.4±1.5	35±7.3	15 690±2 968	3 660±661	1 332±998	17.0±2.2	237.8±57.3	4 748±788	16.0±0.9	46.3±33.1	87.0±5.5
2014 种子	17.9±0.6	9.1±1.3	36.3±16.6	12 130±16	4 043±545	334±0.4	19.1±1.1	312.9±102.6	3 302±442	19.2±0.7	145.8±0.2	81.0±12.8

注:NDF 中性洗涤纤维;ADF 酸性洗涤纤维;RFV 相对饲用价值;CP 粗蛋白;K 钾;Ca 钙;P 磷;Cu 铜;Fe 铁;Mg 镁;Mn 锰;Na 钠;Zn 锌

定,而叶片的占比明显降低,特别是在显序期后 20 d。随花序的增加,叶片的占比随之降低甚至完全凋落,至成熟期花序的占比与茎的占比相当。藜麦生长后期花序干物质占有重要的地位,这可能是由于根系、茎秆和叶片的营养物质向花序转移的缘故。本研究中,两年中成熟期叶片的占比存在差异是由于第二年藜麦达到成熟期后并未及时收获,因此导致叶片完全脱落,在该时期几乎没有叶片。为更为细致地观测藜麦在快速生长阶段的物质积累,于 2015 年,在藜麦进入快速生长阶段后于每天同一时间观测其株高变化,发现藜麦在该时期每日株高生长明显,90 d 以前平均每天的株高增加 5 cm,甚至有的材料的增加能超过 10 cm。藜麦在该阶段快速生长,对水肥胁迫响应敏感^[2]。刘敏国等^[16]通过 N:P 化学计量比的分析认为藜麦在该时期容易受 N 胁迫,而藜麦在盛花期容易受

N 和 P 共同胁迫,这与本研究生长分析的表现相似。

3.2 藜麦的饲用潜力分析

在原产地,藜麦及其副产品作为饲料饲喂家禽已有几千年的历史,藜麦的籽实、秸秆、麸皮、鲜藜麦植株或青贮都有作为饲料或饲料添加的尝试^[2,4,17]。研究表明中晚熟藜麦生物量较大,干物质积累较高且对多种胁迫环境具有很强的适应能力,因此在高寒或干旱地区是一种极有潜力的饲草作物^[2,17-18]。在本研究中所使用的藜麦为中熟藜麦,干物质积累最高达到 7 200 kg/hm²,具有较高的干物质积累。研究表明,藜麦的叶片和花序具有较高的营养价值^[3]。本研究中随着藜麦的生长,藜麦的叶片和花序的干物质占比总是高于茎,其地上部总是保持较高的饲用品质。青贮藜麦被认为具有很高的饲用潜力^[19-20],但是本研究表明,藜麦地上部具有较高的相对含水率,在盛花期和

关键期含水率超过0.75,而适宜乳酸菌活动的含水率在0.65~0.75^[21],因此不适合对新鲜藜麦直接青贮。虽然许多研究人员都提出直接刈割藜麦地上部作为饲草的想法,但是缺乏藜麦在什么阶段进行刈割最有助于平衡干物质积累和饲用品质的研究^[2,17]。本研究使用TOPSIS方法综合藜麦多个饲用品质得出不同生长阶段藜麦的品质得分,结合干物质积累,并对品质得分和干物质积累进行标准化处理,分别绘制藜麦生长过程中标准化的干物质积累指标和品质得分的动态变化,进行拟合线性回归,发现两条曲线在生长90 d左右相交。因此在藜麦生长过程中,90 d左右(盛花期至灌浆期)刈割藜麦能够实现干物质和品质的最优。本研究还对藜麦种子和麸皮的饲用品质进行分析,相比藜麦种子,麸皮在矿质元素含量上具有更高的优势。

4 结论

藜麦显序期后进入快速生长阶段,干物质积累迅速,该生长阶段藜麦的株高生长迅速,株高最高增长量超过10 cm/d,平均5 cm/d。随藜麦的生长,茎的干物质占比相对稳定,但是花序和叶的占比此消彼长。TOPSIS分析表明随着生长,干物质积累逐渐增加,饲用品质逐渐降低,在盛花期至灌浆期之间能够达到干物质积累和饲用品质的平衡,该时期的地上部分相对含水率较高(0.8左右)。相比藜麦籽实,其加工后的麸皮具有更高的矿质元素含量。在该地区,藜麦盛花至灌浆期的地上部和加工后的麸皮是一种有潜力的饲料来源。

参考文献:

- [1] 郭莹,杜久元,杨芳萍,等. 我国饲草生产现状及发展对策[J]. 畜牧与饲料科学,2021,42(2):85-90.
- [2] 刘敏国,杨倩,杨惠敏,等. 藜麦的饲用潜力及适应性[J]. 草业科学,2017,34(6):1264-1271.
- [3] Liu M, Yang M, Yang H. Biomass production and nutritional characteristics of quinoa subjected to cutting and sowing date in the midwestern China [J]. Grassland Science, 2021, 67(3): 215-224.
- [4] 李星. 藜麦在吉林西部的适应性及饲用潜力研究[D]. 长春:东北师范大学,2019.
- [5] Bhargava A, Shukla S, Ohri D. *Chenopodium quinoa*—an Indian perspective [J]. Industrial Crops and Products, 2006, 23(1): 73-87.
- [6] Alghory A, Yazar A. Evaluation of crop water stress index and leaf water potential for deficit irrigation management of sprinkler-irrigated wheat [J]. Irrigation Science, 2019, 37(1): 61-77.
- [7] Tan M. Macro- and micromineral contents of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties used as forage by cattle [J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2020, 44(1): 46-53.
- [8] Emrani N, Hasler M, Patiranage D S R, et al. An efficient method to produce segregating populations in quinoa (*Chenopodium quinoa*) [J]. Plant Breeding, 2020, 139(6): 1190-1200.
- [9] Camaggio G, Amicarelli V. The ancient crop of quinoa for world food security [J]. Commodity Science in Research and Practice—Future Trends and Challenges in Food Sector, 2014, 1: 31-45.
- [10] Kakabouki I, Bilalis D, Karkanis A, et al. Effects of fertilization and tillage system on growth and crude protein content of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An alternative forage crop [J]. Emirates Journal of Food and Agriculture, 2014, 26(1): 18-24.
- [11] Bazile D, Bertero H D, Nieto C. State of the art report on quinoa around the world in 2013 [R]. Rome: FAO& CIRAD, 2015.
- [12] 杨发荣,黄杰,郑健,等. 藜麦生物学特性及应用[J]. 草业科学,2017,34(3):607-613.
- [13] Podkowka Z, Gesinski K, Podkowka L. The influence of additives facilitating ensiling on the quality of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) silage [J]. Journal of Central European Agriculture, 2018, 19(3): 607-614.
- [14] 马思宇. 不同品种藜麦的生长发育及光合特性研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2021.
- [15] 王艺璇. 科尔沁沙地不同品种藜麦生长与生理特征研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2019.
- [16] 刘敏国,王士嘉,杨惠敏,等. 河西走廊藜麦C、N、P生态化学计量学特征对物候期的响应[J]. 干旱区研究, 2018, 35(1): 192-198.
- [17] 姜庆国,温日语,赵力,等. 饲草藜麦不同采收期饲用价值分析及对肉牛生长性能的影响[J]. 中国饲料, 2021

- (10):17–21.
- [18] Geerts S, Raes D, Garcia A M, *et al.* Crop water use indicators to quantify the flexible phenology of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in response to drought stress [J]. *Field Crops Research*, 2008, 108(2):150–156.
- [19] 马莹. 青贮技术对藜麦饲用价值的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.
- [20] 张琴萍, 邢宝, 周帮伟, 等. 藜麦饲用研究进展与应用前景分析[J]. *中国草地学报*, 2020, 42(2):162–168.
- [21] 陈鑫珠. 含水率、混合比例及添加剂对水葫芦玉米秸秆混合青贮品质的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.

Analysis of dry matter accumulation and feeding quality of quinoa

XU Rui¹, ZHOU Zhen-ying², LIU Min-guo^{3*}

(1. *Qilihe District Bureau of Agriculture and Rural Affairs of Lanzhou Municipality, Lanzhou 730050, China*; 2. *Lanzhou University of Finance and Economics, Lanzhou 730050, China*; 3. *College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730050, China*)

Abstract: **【Objective】** With the quick development of livestock husbandry, there is a rising need for forage supplies to feed domestic animals. New forage crops are required in the arid northwest to provide a new supply of nutrition, and quinoa is an emerging crop with enormous potential. **【Method】** A study on the quinoa's dry matter accumulation and feeding quality was carried out between 2015 and 2016 in Zhangye city. The dynamics of dry matter accumulation and distribution, the dynamics of relative water content of shoot, the daily increase in plant height and forage quality at different growth stages of quinoa were measured to analyze the dry matter accumulation of quinoa and to explore the suitable harvesting stage for quinoa. **【Result】** The results showed that quinoa entered a rapid growth stage after the bud formation stage with a rapid accumulation of dry matter, and the daily increase of plant height could reach more than 10 cm/d. With the growth, the proportion of stem was always below 50%, and leaves and inflorescences occupied an important proportion in the aboveground part. A comprehensive analysis of the dry matter accumulation and forage quality dynamics for quinoa was carried out with the TOPSIS method, and the analysis showed that the appropriate cutting stage was between flowering and filling. It was also found that the bran had a higher mineral content than seed. **【Conclusion】** Therefore, in this region, the suitable above-ground part and processed bran of quinoa could be a potential feed source.

Key words: *Chenopodium quinoa*; growth characteristics; feeding quality; feeding potential; TOPSIS