

## 链烷技术检测蝗虫食性方法的研究

刘贵河<sup>1</sup>, 郝树广<sup>2</sup>, 易爱民<sup>3</sup>, 张英俊<sup>4</sup>, 汪诗平<sup>5</sup>

(1. 河北北方学院动物科技学院, 河北 张家口 075000; 2. 中国科学院动物研究所, 北京 100080;  
3. 内蒙古锡林郭勒盟农牧业局土壤肥料工作站, 内蒙古 锡林浩特 026000; 4. 中国农业大学动物科技学院  
草地研究所, 北京 100193; 5. 中国科学院青藏高原研究所高寒生态学和生物多样性实验室, 北京 100101)

**摘要:** 为验证链烷技术测定蝗虫食性的精确性, 确定蝗虫粪便中链烷的回收率。于 2007 年夏季在内蒙古太仆寺旗天然草地, 用优势植物羊草(*Leymus chinensis*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)和克氏针茅(*Stipa kylovii*)各 500 g, 饲喂 360 只成虫的亚洲小车蝗(*Oedaleus asiaticus*)。试验期内每天记录蝗虫实际牧草采食量、采食成分和排粪量, 利用气相色谱分析牧草和粪样的链烷含量, 应用链烷技术测定蝗虫的牧草采食比例, 并与实际值进行比较。结果表明, 3 种牧草链烷模式存在种间差异; 蝗虫粪便中链烷的回收率随链烷长度的增加而线性增加; 蝗虫采食羊草、糙隐子草和克氏针茅比例的测定值与实际值存在显著正相关( $P < 0.05$ ), 相关系数分别为 0.925 5、0.956 6 和 0.978 2。因此链烷技术可以精确测定典型草原蝗虫的食物组成。

**关键词:** 链烷技术; 亚洲小车蝗; 食性

中图分类号: S 181

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1673-1492.2013.04.009

## Using n-alkanes Technique to Estimate Dietary Habit of Grasshopper

LIU Gui-he<sup>1</sup>, HAO Shu-guang<sup>2</sup>, YI Ai-min<sup>3</sup>, ZHANG Ying-jun<sup>4</sup>, WANG Shi-ping<sup>5</sup>

(1. School of Animal Science and Technolgy, Hebei North University, Zhangjiakou, Hebei 075000, China; 2. Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China; 3. Soil and Fertilizer Station of Bureau of Agriculture and Animal Husbandry, Xilingol Prefecture, Inner Mongolia 026000, China; 4. Institute of Grassland Science, College of Animal Science and Technolgy, China Agricultural University, Beijing, 100193 China; 5. Key Laboratory of Alpine Ecology and Biodiversity, Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** An experiment was carried out to determine the accuracy of n-alkanes as markers for estimation of diet composition of grasshopper, and measure fecal recoveries of n-alkanes in grasshopper in rangeland of Taipusi Banner, Inner Mongolia in autumn 2007. Three hundred and sixty adult *Oedaleus asiaticus* were fed with fresh mixtures of *Leymus chinensis*, *Cleistogenes squarrosa* and *Stipa kylovii* in known amounts. The herbage intake, dietary ingredients and feces amount were collected daily; and the n-alkane concentration of herbage and feces samples was analyzed using gas chromatography. Proportion of dietary herbage was determined by n-alkanes technique and compared with actual value. The results showed that there was a difference in concentration of n-alkanes among 3 species forages; and fecal recoveries of n-alkanes linearly increased with increase of carbon chain lengths; there were significant positive correlations ( $P < 0.05$ ) between measured dietary composition and the actual values of *L. chinensis* ( $r=0.9255$ ), *C. squarrosa* ( $r=0.9566$ ), *S. kylovii* ( $r=0.9782$ ) using n-alkane technique. In conclusion, n-alkane technique can provide an accurate and precise determination of diet composition of grasshopper.

**Key words:** n-alkane technique; *Oedaleus asiaticus*; dietary composition

来稿日期: 2013-04-10

基金项目: 中国科学院“百人计划”优先资助项目(292005312D1102626); 中国科学院知识创新工程方向性项目(KSCX2-YW-N-040)

作者简介: 刘贵河(1968-), 男, 内蒙古太仆寺旗人, 河北北方学院动物科技学院副教授, 博士, 主要从事草地资源、草地生态与管理研究。通讯作者: 汪诗平。

近年来,国内天然草原中有90%的可利用草地处于不同程度退化<sup>[1]</sup>,退化草地为蝗虫繁殖创造了有利条件,导致蝗灾大面积发生<sup>[2]</sup>。尤其2002年以来,西部的内蒙古、新疆、青海、西藏和甘肃等地连续爆发蝗灾<sup>[3-8]</sup>,蝗虫危害形成了“蝗害-草原退化-蝗害加剧”的恶性循环,加速了草地退化进程<sup>[9]</sup>。因此蝗虫的食性研究对进一步研究草地退化以及蝗虫防治具有十分重要的意义。

前人总结了很多的方法来评价蝗虫食性,最常见的方法包括罩笼条件下蝗虫取食习性的观察<sup>[10,11]</sup>、口器结构适应性分析<sup>[12]</sup>、消化道形态学研究<sup>[13]</sup>以及蝗虫粪便形态特征分析<sup>[14]</sup>。这些方法和技术只能将蝗虫的食性做大致的划分和归类<sup>[15]</sup>。虽然喙囊内含物显微分析技术被广泛用于评价蝗虫的食性<sup>[16-18]</sup>,但在实际应用中很难被推广<sup>[19]</sup>。

随着生态学的发展,链烷技术被普遍应用,主要应用于放牧家畜食性和食量的研究上<sup>[20-22]</sup>,对蝗虫食性的研究未见报道。由于链烷技术理论上可以研究蝗虫的食性<sup>[23,24]</sup>,需要对其研究方法进行探讨和完善。本研究选择内蒙古典型草原克氏针茅(*Stipa krylovii*)群落为研究对象,选用优势植物羊草(*Leymus chinensis*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)和克氏针茅(*Stipa krylovii*)3种主要牧草饲喂蝗虫,确定链烷技术估测优势种亚洲小车蝗(*Oedaleus asiaticus*)食性的精确性,旨在为蝗灾防治及草原保护提供理论和实践依据,同时也为链烷技术在国内应用提供科学的理论和实践依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于2007年7月20日至7月23日选择在内蒙古自治区锡林郭勒盟南部太仆寺旗贡宝拉嘎苏木(乡)哈夏图嘎查(村)东侧天然草地(北纬41°35'47",东经115°07'18",海拔1380m)进行。该区属温带半干旱大陆性气候,冬季寒冷干燥,夏季温暖湿润。年平均气温2℃,最冷月1月平均气温-17.6℃,最热月7月平均气温17.8℃,大于10℃的有效积温为1790~2198℃。年平均降水350mm,受季风气候影响,降水量分布季节性明显,主要集中在6、7、8月。年均蒸发量1900mm,是降水量5倍左右,春、夏、秋季常发生干旱。平均日照时数2900h,平均风速4m/s,无霜期约115d。试验地草地长期处于自由放牧状态。

### 1.2 试验设计

在试验地天然草地上扎12个网笼(0.5m×0.5m×0.8m),除去网笼内所有的草种,清理干净地面并压实。用扫网法确定优势蝗虫种为亚洲小车蝗,并用扫网法捕捉健康的亚洲小车蝗成虫360只,每个网笼中放入30只蝗虫,用鲜羊草、糙隐子草和克氏针茅各500g饲喂蝗虫,第1d预试验,从第2d起正式试验,第3d起每天7:00称取食剩的牧草,经水分损失校正后计算蝗虫采食量,并用链烷技术估测采食牧草比例。

### 1.3 样品采集和处理

饲喂蝗虫前,每天准确称取3种鲜草各150g,65℃烘干,测牧草干鲜比,饲喂后取出食剩的牧草,准确称量每种牧草150g,65℃烘干测干鲜比,计算每种牧草每天实际采食的干物质质量和比例;同时把试验期所取同种牧草分别混合均匀、粉碎,过1mm筛,备测链烷含量。

试验期内每天上午7:30开始收集一次粪便,第1d收集的粪便弃掉,粪便收集顺延1d,粪便在65℃烘箱中烘干称重,将同一网笼内3d的粪样混合均匀,过1mm筛粉碎,备测链烷含量。另外取5%的粪样置于105℃烘箱中烘干,称干重,用干鲜比计算蝗虫每天实际干物质排粪量。

### 1.4 样品分析

链烷提取、分析、色谱条件以及食性食量测定参考刘贵河等<sup>[25]</sup>方法。

### 1.5 数据处理与分析

试验数据采用SPSS11.5软件进行单因素方差分析、相关分析和回归分析,所有数据用Excel计算并形成图表。

## 2 结果与分析

### 2.1 3种牧草链烷模式

3种牧草的链烷特征模式是不同的,每种牧草的奇数链烷含量均高于相邻偶数链烷含量,且优势链烷均为C<sub>29</sub>、C<sub>31</sub>和C<sub>33</sub>,链烷模式存在种间差异(表1)。

表1 植物种链烷模式(mg/kg干物质)

植物种	C <sub>21</sub>	C <sub>23</sub>	C <sub>24</sub>	C <sub>25</sub>	C <sub>26</sub>	C <sub>27</sub>	C <sub>28</sub>	C <sub>29</sub>	C <sub>30</sub>	C <sub>31</sub>	C <sub>32</sub>	C <sub>33</sub>	C <sub>35</sub>	总和
羊草	1	3	1	4	1	10	2	28	3	76	3	22	1	155
糙隐子草	5	7	1	8	3	42	6	159	8	265	8	92	5	609
克氏针茅	5	5	2	10	3	49	6	321	22	2 014	20	153	14	2 624

注: C<sub>21</sub>-C<sub>35</sub>分别为碳原子数21~35的链烷,如21烷和35烷。

## 2.2 粪便中链烷的回收率

从图1可以看出,不同长度的链烷回收率不同,链烷从C<sub>21</sub>到C<sub>35</sub>,回收率从90%线性增加到100%,且相邻奇数链烷的回收率差异不显著( $P>0.05$ )。

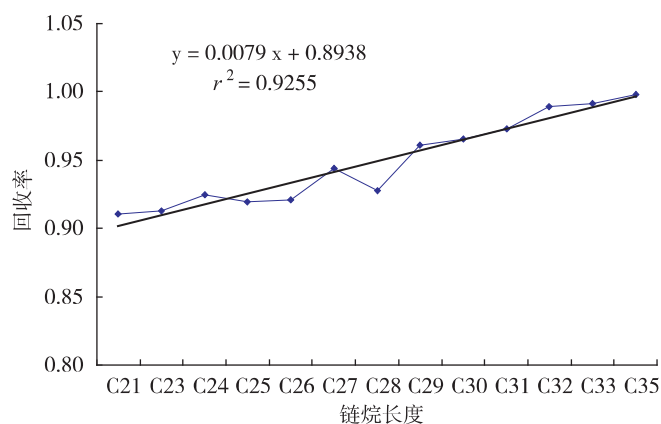


图1 链烷回收率与碳链长度的关系

## 2.3 蝗虫的采食量和排粪量

以30头蝗虫为一个处理,每天实际采食每种牧草的数量及其排粪量差异不显著( $P>0.05$ ),见表2。

表2 30只蝗虫每天采食每种牧草的数量及排粪量(g)

植物种	采食量(g) (Intake±S.E)	排粪量(g) (Feces output±S.E)
羊草	23.9±0.2 <sup>a</sup>	22.9±0.4 <sup>a</sup>
糙隐子草	24.1±0.1 <sup>a</sup>	22.5±0.3 <sup>a</sup>
克氏针茅	23.3±0.3 <sup>a</sup>	22.9±0.4 <sup>a</sup>

注:同一行中不同字母的数值间差异显著( $P<0.05$ )。

## 2.4 蝗虫采食牧草比例

蝗虫采食牧草比例实际值和估测值间存在显著正相关,羊草、糙隐子草和克氏针茅的相关系数分别为0.9255、0.9566和0.9782,三者的回归直线斜率介于0.77~0.96之间(图2);蝗虫采食3种牧草的测定比例分别为羊草(41.3%±0.34%)、糙隐子草(17.1%±0.35%)、克氏针茅(41.6%±0.32%),实际牧草比例和测定比例分别进行t检验,差异均不显著( $P>0.05$ ),说明链烷技术可以准确测定蝗虫采食3种牧草的比例。

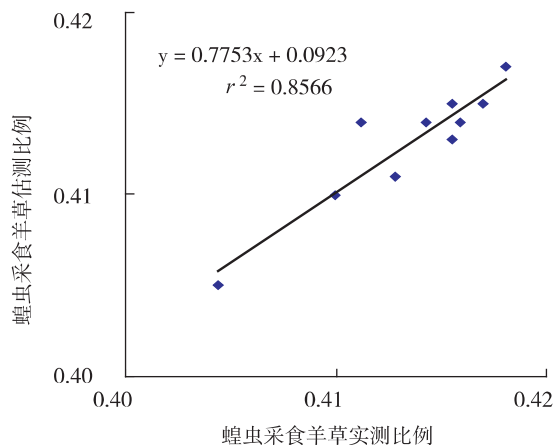


图2 羊草采食实际与估测比例比较

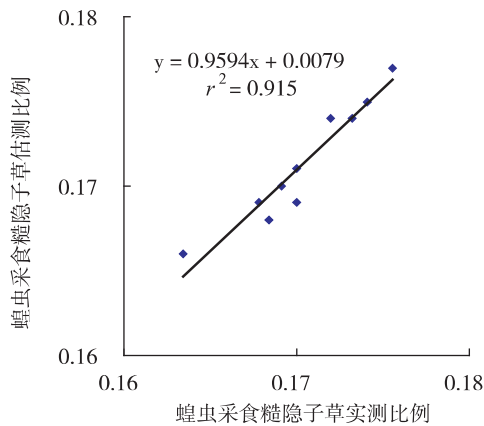


图3 糙隐子草采食实际与估测比例比较

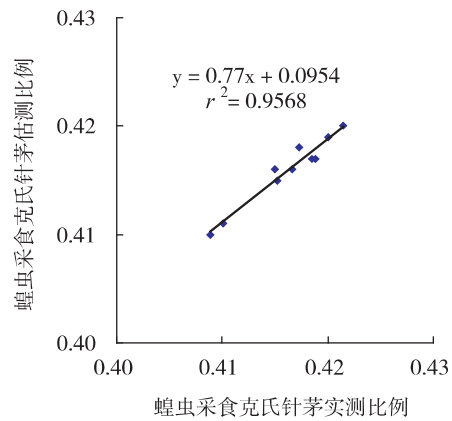


图4 克氏针茅采食实际与估测比例比较

### 3 结论与讨论

由于亚洲小车蝗主要是以禾草为食<sup>[17,18,26]</sup>，因此本研究采用3种禾草饲喂亚洲小车蝗。由于蝗虫个体采食量小，为减小误差，本试验以蝗虫群体(30只)作为单元来研究其食性。考虑到蝗虫在捕捉过程以及网笼内饲养过程中易受伤或死亡，因此每天饲喂前要检查死亡蝗虫数量并补充。本试验后2个处理笼内饲养的蝗虫只用于补充其它处理中死亡的蝗虫，不进行数据采集。

牧草中链烷种类和含量的差异是评价蝗虫采食牧草种类组成的依据，这也是推广运用链烷技术评价食草动物食性的理论基础<sup>[24]</sup>。供试3种牧草链烷模式存在种间差异，与前人研究结果一致<sup>[27,28]</sup>。粪便中链烷的回收率是运用链烷技术精确测定食草动物食性的前提<sup>[29]</sup>，牧草链烷通过动物消化道后的回收率存在差异<sup>[30,31]</sup>。由于动物种类不同，粪便中链烷的回收率也存在较大的差异，有的线性增加<sup>[32,33]</sup>，有的线性下降<sup>[34]</sup>。本研究蝗虫粪便中链烷的回收率随链烷长度增加而线性增加，链烷从C<sub>21</sub>到C<sub>35</sub>，回收率从90%增加到100%。

链烷技术测定食草动物牧草采食比例是通过牧草链烷含量与经回收率校正后的粪便中链烷含量建立联立方程来计算的<sup>[11]</sup>，但随着计算机软件的发展，最小平方和优化程序<sup>[35]</sup>被广泛应用，在测定牧草采食比例时更为简单、快速、准确<sup>[36]</sup>，其中使用比牧草种类数多的链烷数量测定的结果与使用和牧草种类数相等的链烷数量测定的结果存在差异，但不显著<sup>[37]</sup>。本研究如果用C<sub>28</sub>以下短链烷估测蝗虫的食性与实际测定值差异显著(P<0.05)，用C<sub>28</sub>以上长链烷估测蝗虫食性与实际测定值差异不显著(P>0.05)，尤其采用优势链烷C<sub>29</sub>、C<sub>31</sub>和C<sub>33</sub>的估测值与实际测定值最为接近，因此，链烷技术可以精确测定蝗虫采食牧草的比例。

#### 参考文献：

- [1] 李凤霞,张德罡. 草地退化指标及恢复措施[J]. 草原与草坪,2005,(01):24-28.
- [2] 颜忠诚,陈永林. 草原蝗虫的栖境选择[J]. 动物学报,1997,43(01):110-111.
- [3] 潘建梅. 内蒙古草原蝗虫发生原因及防治对策[J]. 中国草地,2002,(06):66-69.
- [4] 陈永林. 认识草原蝗害[J]. 大自然探索,2003,(12):20.
- [5] 孙涛,龙瑞军. 我国草原蝗虫生物防治技术及研究进展[J]. 中国草地学报,2008,30(03):88-93.
- [6] 方毅才. 甘肃草原蝗虫现状与防治对策[J]. 草业科学,2009,26(11):157-160.
- [7] 赵玲,王登元,赵莉,等. 新疆蝗虫的研究进展[J]. 新疆农业科学,2012,49(07):1212-1213.
- [8] 白月明,刘玲,乐章燕,等. 20世纪以来中国蝗虫监测预测研究动态进展[J]. 中国农学通报,2012,28(26):281-290.
- [9] 邱星辉,康乐,李鸿昌. 内蒙古草原主要蝗虫的防治经济阈值[J]. 昆虫学报,2004,47(05):595-598.
- [10] Gangwere S K. A monograph on food selection in Orthoptera[J]. Transact Amer Entom Society,1961,(87):67-230.
- [11] 李鸿昌,席瑞华,陈永林. 内蒙古典型草原蝗虫食性的研究 1. 罩笼供食下的取食特性[J]. 生态学报,1983,3(03):214-228.

- [12] Gangwore. The Structural adaptations of mouthparts in Orthoptera and allies[J]. *Eos* 1965,41:67-96.
- [13] Tyrkus M. The feasibility of use of caecal and diverticular coloration in field determination of grasshopper diet[J]. *Mich Entom*,1971,4:14-22.
- [14] Tyrkus M,Gangwore S K. Studies on the feculae of selected Michigan Acridities[J]. *Mich Entom*,1970,61:118-128.
- [15] Nelson M L,Gangwore S K. A key to grasshopper food plants based on anatomical features[J]. *Mich Boian*,1981,20:11-126.
- [16] 康乐,陈永林. 草原蝗虫营养生态位的研究[J]. *昆虫学报*,1994,37(02):178-189.
- [17] 贺达汉,郑哲民. 荒漠草原蝗虫营养生态位及种间食物竞争模型的研究[J]. *应用生态学报*,1997,8(06):605-611.
- [18] 王世贵,马小梅. 浙江杭州地区红褐斑腿蝗的食性选择及其取食生态位[J]. *植物保护*,2009,35(04):39-43.
- [19] Norbury G L,Sanson G D. Problems with measuring diet selection of terrestrial,mammalian herbivores[J]. *Austr J Ecol*,1992,17:1-7.
- [20] Valiente O L,Delgado P, Vega A D, et al. Validation of the n-alkane technique to estimate intake,digestibility and diet composition in sheep consuming mixed grain,roughage diets[J]. *Austr J Agric Res*,2003,54:693-702.
- [21] Kuzyk G W,Hudson R J. Using n-alkane markers to estimate forage intake of mule deer[J]. *J Zool*,2006,84:1576-1583.
- [22] 刘贵河,汪诗平,张英俊,等. 链烷技术估测典型草原放牧牛食性食量方法研究[J]. *草地学报*,2009,17(06):693-698.
- [23] Dove H. Using the n-alkanes of plant cuticular wax to estimate the species composition of herbage mixtures[J]. *Austr J Agric Res*,1992,43:1711-1724.
- [24] Dove H,Mayes R W. The use of plant wax alkanes as marker substances in studies of the nutrition herbivores;a review [J]. *Austr J Agric Res*,1991,42:913-952.
- [25] 刘贵河,林立军,张英俊,等. 饱和链烷技术测定绵羊食性食量精确性研究[J]. *中国农业科学*,2006,39(07):1472-1479.
- [26] 卢辉,余鸣,张礼生,等. 不同龄期及密度亚洲小车蝗取食对牧草产量的影响[J]. *植物保护*,2005,31(04):55-58.
- [27] Dove H,Mayes R W,Freer M. Effects of species,plant part,and plant age on the concentrations in the cuticular wax of pasture plants[J]. *Austr J Agric Res*,1996,47:1333-1347.
- [28] Zhang Y Y,Togamura,Otsuki K. Study on the n-alkane patterns in some grasses and factors affecting the n-alkane patterns[J]. *J Agric Sci*,2004,142:469-475.
- [29] Brosh A,Henkin Z,Rothman S J,et al. Effects of fecal n-alkane recovery in estimates of diet composition[J]. *J Agric Sci*,2003,140:93-100.
- [30] Unal Y,Garnsworthy P C. Estimation of intake and digestibility of forage-based diets in group-fed dairy cows using alkanes as markers[J]. *J Agric Sci*,1999,133:419-425.
- [31] Smit H J,Taweel H Z,Tas B M,et al. Comparison of techniques for estimating herbage intake of grazing dairy cows[J]. *J Agric Sci*,2005,88:1827-1836.
- [32] 刘贵河,张英俊,汪诗平,等. 影响内蒙古典型草原3种牧草饱和链烷回收率的因素研究[J]. *草业学报*,2006,15:109-114.
- [33] Mayes R W,Lamb C S,Colgrove M. The use of dosed and herbage n-alkanes as markers for the determination of herbage intake[J]. *J Agric Sci*,1986,107:161-170.
- [34] Vulich S A,O'riordan E G,Hanrahan J P. Use of n-alkanes for the estimation of herbage intake in sheep;accuracy and precision of the estimates[J]. *J Agric Sci*,1991,116:319-323.
- [35] Dove H,Moore A D. Using a least-squares optimization procedure to estimate botanical composition based on the alkanes of plant cuticular wax [J]. *Austr J Agric Res*,1995,46:1535-1544.
- [36] Newman J A,Thompson W A,Penning P D,et al. Least-squares estimation of diet composition from n-alkanes in herbage and faeces[J]. *Austr J Agric Res*,1995,46:793-805.
- [37] Newman J A,Cribari-neto,Jensen M J. The sensitivity of n-alkane analysis to measurement error;implications for use in the study of diet composition[J]. *J Agric Sci*,1998,131:465-476.

[责任编辑:刘守义 英文编辑:刘彦哲]