

内蒙古草原主要蝗虫及其嗜食植物的 无机化学元素特征初步研究*

陈永林 李鸿昌

(中国科学院动物研究所)

章慧麟 叶韵娴 任连奎

(中国科学院生态学研究中心)

摘 要

本文对主要蝗虫及其食料植物的无机化学成分的特征进行了讨论。所用蝗虫及有关植物均采自中国科学院内蒙古草原生态系统定位站及其邻近地区。这些蝗虫包括：短星翅蝗、宽翅曲背蝗、宽须蚁蝗、毛足棒角蝗、狭翅雏蝗、小翅雏蝗、红翅皱膝蝗、鼓翅皱膝蝗。比较并讨论了其无机化学成分的差异及含量关系的特征(表1、2)。对上述蝗虫及其食料植物间无机化学成分的差异做了图解(图1—8)。

草原生态系统的结构及其功能的研究将探索各亚系统之间的相互制约协调、物质循环转化、能量输入与输出以及生物生产力净值等生态学基本规律。探讨蝗虫及其嗜食植物的无机化学元素组成特征并进行比较是阐明草原生态系统中消费者与生产者之间物质循环转化规律的基础。

关于蝗虫的无机化学元素组成成分的研究，国内尚未见有报道。Uvarov (1966)曾对前人有关这方面的研究进行了概述。涉及的蝗虫种类有：沙漠蝗 (*Schistocerca gregaria*)、南美沙漠蝗 (*Schistocerca parenensis*)、*Acanthacris ruficornis*、双带黑蝗 (*Melanoplus bivittatus*)、亚洲飞蝗 (*Locusta migratoria migratoria*)、稻蝗 (*Oxya sp.*)等。所分析的无机化学元素包括：硅(Si)、铜(Cu)、铁(Fe)、锰(Mn)、钠(Na)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、钛(Ti)、镍(Ni)、磷(P)、硫(S)、硒(Se)等13种。所取材料多数为成虫，个别样品为蝗蛹及卵。有关无机化学元素成分的数值，多数是虫体干重的百分比，其次是占虫体灰分的百分比。

我们对内蒙古锡林河流域草原的主要蝗虫——优势种与不同科属的代表种及其食料植物中所含灰分、全氮量以及无机化学元素特征进行了分析比较研究。所分析的蝗虫种类有：短星翅蝗 (*Calliptamus abbreviatus*)、宽翅曲背蝗 (*Pararcyptera microptera meridionalis*)、

* 本研究系中国科学院内蒙古草原生态系统定位站研究报告之一，并得到该站领导及全站同志的支持。植物标本承内蒙古大学刘钟龄同志及中国科学院植物研究所王义凤、陈佐忠等同志鉴定，特此一并致谢。光谱半定量分析由中国科学院地质研究所张利燕同志承担，全氮量分析由中国科学院生态学研究中心赵思平同志承担，特此一并致谢。

宽须蚁蝗 (*Myrmeleotettix palpalis*)、毛足棒角蝗 (*Dasyhippus barbipes*)、狭翅雏蝗 (*Chorthippus dubius*)、小翅雏蝗 (*Chorthippus fallax*)、红翅皱膝蝗 (*Angaracris rhodopa*)、鼓翅皱膝蝗 (*Angaracris barabensis*) 等的成虫及部分种类的蝗蛹及蝗卵。对上述不同种类蝗虫的食料植物 (主要为嗜食植物) 亦作了分析。它们是: 羊草 *Aneurolepidium chinense* (*Leymus chinensis*)、冰草 (*Agropyron cristatum*)、针茅 (*Stipa grandis*)、早熟禾 (*Poa* sp.)、糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*)、芨芨草 (*Achnatherum splendens*)、落草 (*Koeleria cristata*)、寸草苔 (*Carex duriuscula*)、二裂萎陵菜 (*Potentilla bifurca*)、菊叶萎陵菜 (*Potentilla tanacetifolia*)、小叶锦鸡儿 (*Caragana microphylla*)、扁蓄豆 (*Melissitus ruthenica*)、狭叶柴胡 (*Bupleurum scorzonerifolium*)、冷蒿 (*Artemisia frigida*)、变蒿 (*Artemisia commutata*)、双齿葱 (*Allium bidentatum*) 等。

一、实验与分析方法

本项研究所用蝗虫及其嗜食植物的样品均采自内蒙古锡林河流域中国科学院内蒙古草原生态系统定位站及其邻近地区。蝗卵样品的收集, 系通过铁纱罩笼 (或养虫箱) 饲养蝗虫, 待成虫交配产卵后挖出¹⁾。

蝗虫及其嗜食植物粗蛋白质含量的分析, 均采用凯氏定氮法。植物灰分及其灰分元素的测定, 是将粉碎后的样品在450—500℃下灰化8小时, 测定灰分含量。取此灰经光谱半定量分析测定灰分元素。蝗虫灰分分析, 首先将样品进行干燥, 即将虫笼中的活虫体放入真空干燥箱中, 加热, 抽真空。待温度升到35℃、压力降到40mm汞柱时, 停止加温、减压。保持3小时 (可维持在45°±2℃、-740mm汞柱)。反复操作3次。取出保存备用。取干燥的虫样放于瓷质研钵内, 仔细磨成细粉。称取此粉约1克, 在105℃烘2—3小时, 称至恒重。在电热板上小心炭化后, 送茂福炉中经450—500℃灰化8小时, 称灰分重量。得灰分后, 再进行光谱半定量分析测定无机元素。

二、结 果

1. 几种蝗虫的灰分及全氮 (粗蛋白质) 百分含量与无机化学元素的序列

1) 短星翅蝗

雄性成虫为: 灰分4.48; Si, K > Mg > Ca > Al > P, Na = Fe > Zn* > Ba > Sr > B = Ti > Mn > Cu > Pb > Cr = Ni > Mo > Ga > Be。

雌性成虫为: 灰分5.48; Si, K > Mg = Ca > Al > P > Na = Fe > Zn* > Ba > Mn > Sr > B = Ti > Cu = Zr > Cr > Ni > Pb > Mo > Co, Ga > Be。

1) 蝗虫样品系采用全虫体。对肠道中未消化的食料植物, 雌性成虫是否已孕卵, 以及粪便是否排出等项, 拟在今后研究中探讨。

* 某些元素如锌 (Zn) (中含量级); 钒 (V)、锗 (Ge)、(微量级) 等, 在有些种蝗虫体内析出, 但在其食料植物中则未析出, 这一现象有待进一步研究。下同。

此外, 雌性成虫还分析出V>Y。

2) 宽翅曲背蝗

雄性成虫为: 灰分4.20; K>Mg=Si>P>Na=Ca>Al>Fe>Mn=Ba>Sr>Ti>Cu>B>Cr>Co=Ni>Ga>Zr, Mo, Sn, Pb>Be。

雌性成虫为: 灰分4.58; Si, K>Mg>P>Na>Ca>Al=Fe>Sr>Ba>Mn>Ti>Cu>B>Ni>Cr, Co, Ga, Zr, Mo, Sn, Pb。

3) 宽须蚁蝗

雄性成虫为: 灰分4.66; 全氮13.54 (粗蛋白质84.63); Si, K>Mg>Na>Ca>Al>Fe>Mn>Ba>Cu>Ti=Sr>Cr>Ni=Pb>B>Co>Ga>Zr, Mo, Sn>Be。

雌性成虫为: 灰分4.56; 全氮12.92 (粗蛋白质80.75); Si, K>Mg>Na>P>Ca>Al>Fe>Ba>Mn>Sr>Ti>Cu>B>Cr>Ni=Pb>Co>Ga, Zr, Mo, Sn>Be。

此外, 在两性成虫还分析出Zn*>V, Y>Yb。

雄性蝗蛹为: 灰分4.30; 全氮12.52 (粗蛋白质78.25); Si, K>Mg=Ca>Al>P>Fe>Na>Zn*>Ti>Ba>Mn>B=Cu>Sr=Zr=Pb>Cr>Ni>Mo>V>Co, Ga>Be>Yb。

雌性蝗蛹为: 灰分5.20; 全氮13.62 (粗蛋白质85.13); Si, K>Mg>Ca>P>Na=Fe>Al>Zn*>Ba>Mn>Ti=Cu>Sr>B=Pb>Cr>Ni>Mo>V, Co, Ga>Be。

4) 毛足棒角蝗

雄性成虫为: 灰分4.86; 全氮14.68 (粗蛋白质91.75); Si, K>Mg>Ca>P>Na=Fe>Al>Zn*>Ba>Mn>Sr>B>Ti=Cu>Cr>Ni>Pb>Mo>V, Co, Ga>Be。

雌性成虫为: 灰分4.53; 全氮13.40 (粗蛋白质83.75); Si, K>Mg>Ca>P>Na=Fe=Al>Zn*>Cu=Ba>Mn>Sr>Ti=Cr>B=Pb>Ni>Mo>V, Co, Ga>Be。

卵为: 灰分7.36; K>Si>Mg>P>Na>Ca>Fe>Al>Cu>Ti>Sr, Ba>B>Mn>Cr>V, Ni, Mo, Pb。

5) 狭翅雏蝗

雄性成虫为: 灰分4.93; 全氮13.47 (粗蛋白质84.19); K>Si>Mg>P>Na>Fe>Ca>Zn*>Mn>Al>Zr>Cu>Ti>Sr>Ba>Pb>B>Ni=Mo>Cr=Y>V, Co, Ga, Gc>Be=Yb。

雌性成虫为: 灰分5.62; 全氮11.47 (粗蛋白质71.69); K>Si>Mg>P>Na>Fe>Al=Ca>Zn*>Mn>B=Zr>Ti>Sr>Pb>Cu=Ba>Mo>Cr>Ni>Y>V, Co, Ga, Ge>Yb>Be。

雄性蝗蛹为: 灰分5.00; 全氮12.97 (粗蛋白质81.06); Si, K>Mg=Ca>P>Na>Al=Fe>Zn*>Ba>Sr>Mn>Ti>Cu=Pb>B>Mo>Cr=Ni>Y>V, Co, Ga>Be。

雌性蝗蛹为: 灰分5.78; 全氮12.60 (粗蛋白质78.75); Si, K>Al>Mg=Ca>Fe>P>Na>Zn*>Ti>Ba>B=Cr>Cu=Sr>Mn=Zr>Ni=Pb>Mo>V>Ga>Co, Y>Be>Yb。

6) 小翅雏蝗

雄性成虫为: 灰分4.34; 全氮12.71 (粗蛋白质79.44); K>Mg=Si>P>Na=Fe>

Ca>Zn*>Mn>Cu>Al>Pb>Sn>Ba>B>Cr>Ni>Mo>Ti。

雌性成虫为：灰分4.64；全氮12.26（粗蛋白质76.63）；Si、K>Mg>Al>Ca=Fe>P>Na>Zn*>Ti>Zr>Ba>Mn>B=Cu>Sr>Pb>Cr>Mo>V>Ga>Ni=Y>Be=Yb。

7) 红翅皱膝蝗

雄性成虫为：灰分6.31；K>Si>Mg>P>Na>Fe>Ca>Zn*>Mn>Al>B>Cu>Ti>Pb>Sr、Ba>Cr>Ni>Mo>V、Co、Ga、Ge。

雌性成虫为：灰分5.86；K>Mg=Si>P>Na>Fe>Ca>Zn*>Mn>B=Al>Ti=Cu>Pb>Sr>Ba>Mo>Ni>Cr>V、Co、Ga、Ge。

8) 鼓翅皱膝蝗

雄性成虫为：灰分5.20；全氮12.12（粗蛋白质75.75）；Si、K>Mg>Al>P>Na=Ca>Fe>Ba>Ti=Sr>Mn>Cu>B>Cr>Ni>Co、Ga、Zr、Mo、Pb>Be。

雌性成虫为：灰分5.89；全氮11.71（粗蛋白质73.19）；Si、K>Mg>Al>P>Na=Ca>Fe>Ba>Ti=Sr>Mn>B=Cu>Cr>Ni>Co=Mo=Pb>Ga、Zr>Be。

此外，在雌性成虫中还分析出Zn>V>Y=Yb。

2. 几种蝗虫嗜食植物的灰分及全氮（粗蛋白质）百分含量与无机化学元素序列

1) 羊草

灰分8.69；全氮3.50（粗蛋白质21.88）；Si、K>Mg>Ca>Al>Na=P>Fe>Ba>Ti=Mn=Sr>Cu>B>Pb>Cr、Co、Ni、Ga、Zr、Mo、Sn。

2) 冰草

灰分8.22；全氮2.38（粗蛋白质14.88）；Si、K>Mg>Ca>Al>Na=Fe>P>Ba>Ti>Mn>Sr>Cu>B>Cr=Mo>Co、Ni、Ca、Zr、Sn、Pb。

3) 针茅

灰分6.42；全氮2.55（粗蛋白质15.94）；Si、K>Mg>Ca>Fe>Al>P>Na>Ba>Ti>Mn>Sr>B=Cu>Cr=Pb>Co>Ni、Ga、Zr、Mo、Sn。

4) 糙隐子草

灰分6.86；全氮2.20（粗蛋白质13.75）；Si、K>Mg>Ca>Al>P=Fe>Na>Ba>Mn>Ti>Sr>Cu>B>Mo>Cr、Co、Ni、Ga、Zr、Sn、Pb。

5) 早熟禾 *Poa* sp.

茎：灰分6.93；全氮1.62（粗蛋白质10.13）；Si、K>Mg>Fe>Ca>Na=Al>P>Ba>Ti>Mn>Cu>Sr>Cr>Pb>B=Ni>Co>Ga、Zr、Mo、Sn。

穗：灰分7.95；全氮2.21（粗蛋白质13.81）；Si>Mg=K>P>Al=Ca>Fe>Na>Ti>Ba>Mn>Sr>B>Cu>Cr=Ni=Pb>Co、Ga、Zr、Mo、Sn。

6) 落草

叶：灰分9.65；全氮2.80（粗蛋白质17.50）；Si、K>Mg>Ca>Al=P>Na=Fe>Mn>Ba>Ti>Sr>B>Cu>Pb>Cr=Ni=Mo>Co、Ga、Zr、Sn>Be。

穗：灰分10.02；全氮1.56（粗蛋白质9.75）；Si>K=Mg>Al=Ca>Fe>P>Na>Mn=Ba>Ti>Sr>B>Cu>Pb>Cr、Co、Ni、Ga、Zr、Mo、Sn、Be。

茎：灰分4.28；全氮0.97（粗蛋白质6.06）；Si、K>Mg>Ca>P=Fe>Na>Ba>Al>

Ti>Mn>Sr>Cu>Cr、Co、Ni、Ga、Zr、Mo、Sn、Pb。

7) 寸草苔

灰分10.12; 全氮1.91 (粗蛋白质11.94); Si、K>Mg>Ca>Na = Al>Fe>P>Ba>Sr>Ti>Mn>B = Cu>Cr、Co、Ni、Ga、Zr、Mo、Sn、Pb。

8) 芨芨草

灰分7.44; 全氮2.40 (粗蛋白质15.00); Si、K>Mg>Ca>Na = P>Fe>Al>Ba>Mn>Sr>Ti>Cu>B>Cr、Co、Ni、Ga、Zr、Mo、Sn、Pb。

9) 变蒿

茎、叶: 灰分10.60; 全氮2.93 (粗蛋白质18.31); K>Mg = Si>P = Ca>Al>Na>Fe>Mn = Sr = Ba>B = Ti>Cu>Cr>Co、Ni、Ga、Zr、Mo、Sn、Pb。

花: 灰分8.10; 全氮2.65 (粗蛋白质16.56); K>Si = Ca>Al>P>Na = Mg = Fe>Ti = Sr>Mn>B>Ba>Cu>Ni>Cr>Ga、Zr、Mo、Sn、Pb>Be。

10) 冷蒿

茎: 灰分8.95; 全氮3.09 (粗蛋白质19.31); Si、K>Mg>Ca>Al>P>Na>Fe>Ba>Mn>Sr>Ti>B>Cu>Cr = Ni = Mo>Co、Ga、Zr、Sn、Pb>Be。

花: 灰分7.39; 全氮2.43 (粗蛋白质15.19); Si、K>Mg>Ca>Na = Al>P>Fe>Mn = Sr = Ba>Ti>B>Cu>Ni>Cr、Co、Ga、Zr、Mo、Sn、Pb>Be。

11) 扁蓿豆

灰分8.29; 全氮3.74 (粗蛋白质23.38); K>Si>Ca>Mg>Al>Na = Fe>P>Ti>Ba>Mn = Sr>B>Cu>Cr、Co、Ni、Ga、Zr、Mo、Sn、Pb>Be。

12) 小叶锦鸡儿

花: 灰分5.79; 全氮3.33 (粗蛋白质20.81); Si、K>Mg>Al = Ca>Na = Fe>P>Ba>Ti>Mn = Ni>B = Sr>Cu>Cr = Co = Pb>Ga、Zr、Mo、Sn>Be。

茎叶: 灰分7.65; 全氮4.07 (粗蛋白质25.44); Si、K>Mg = Ca>Al>Fe>P>Na>Sr>Ba>B>Mn>Ti>Cu>Cr>Co、Ni、Ga、Zr、Mo、Sn、Pb>Be。

13) 狭叶柴胡

灰分: 8.80; 全氮2.97 (粗蛋白质18.56); Si、K>Mg = Ca>Fe>B>Na>Al>Ba>Ti = Mn = Sr>B>Cr、Co、Ni、Ga、Zr、Mo、Sn、Pb。

14) 双齿葱

灰分9.24; 全氮2.54 (粗蛋白质15.88); K>Si>Mg>Ca>Na = Al>P>Fe>Ba>Ti = Mn>Sr>B>Cu>Cr、Co、Ni、Ga、Zr、Mo、Sn、Pb>Be。

15) 二裂萎陵菜

灰分7.64; 全氮2.92 (粗蛋白质18.25); K>Mg = Si = Ca>Al>Na = P>Fe>Ba>Mn>Sr>Ti>B>Cu>Zr>Cr = Ni>Co、Ga、Mo、Sn、Pb>Be。

16) 菊叶萎陵菜

叶: 灰分12.19; 全氮2.66 (粗蛋白质16.63); Si、K、Mg = Ca>Al>P>Na>Fe>Ba>Ti = Sr>Mn>B>Cu>Pb>Cr>Co、Ni、Ga、Zr、Mo、Sn>Be。

花: 灰分11.73; 全氮1.77 (粗蛋白质11.06); Si、K>Ca>Mg = Al>Na>P>Fe>

Ba>Ti=Sr>Mn>B>Cu>Zr>Cr>Co、Ni、Ga、Mo、Sn、Pb>Be。

三、讨 论

1. 蝗虫体内所分析出的无机化学元素

Schroder (1909) 对南美洲沙漠蝗的卵、蛹及成虫分析中获得 5—6 种无机元素。卵: K(0.40)>Mg(0.37)>P(0.21)=Fe(0.21)>Ca(0.02); 蛹: P(1.4)=Si(1.4)>K(0.80)>Mg(0.16)=Fe(0.16)>Ca(0.03); 成虫: K(0.76)>P(0.70)>Mg(0.32)>Fe(0.12)>Ca(0.01) (占干重%)。蛹较成虫及卵多 Si。McHargue (1917) 从黑蝗 *Melanoplus* sp. 的 1 种成虫中分析出 9 种无机化学元素: K(1.202)>P(1.190)>Fe(0.107)>Si(0.600)>Mg(0.394)>S(0.380)>Ca(0.360)>Na(0.335)>Mn(0.003) (占干物重%)。Uvarov (1931) 对沙漠蝗曾分析出 12 种无机化学元素。它们所占其灰分百分比及含量序列为: P(32.4)>K(18.2)>Si(11.4)>Na(6.2)=Ca(6.2)>Mg(4.9)>S(2.56)>Fe(2.06)>Mn(0.16)=Ti(0.16)>Cu(0.13)>Ni(0.009); 并从 *Acanthacris ruficornis* 中分析出: Si(6.33)>Fe(1.92)>Cu(0.43) 及 Mg (痕量)。Lapp 等 (1937) 对沙漠蝗所分析的结果是: 雄性为 P(0.562)>Si(0.3696)>Fe(0.357)>S(0.323)>Mn(0.0013) (占干重%); 雌性为 P(0.441)>S(0.316)>Fe(0.267)>Si(0.1736)>Mn(0.0014) (占干重%)。而 Cu、Na、K、Ti 在两性成虫, Se 在雌性成虫中均存在 (未列出数值)。Brodskis (1944) 及 Das (1945) 亦对沙漠蝗成虫进行了分析。其结果分别为: P(1.41)>K(0.98)>Ca(0.35) (占干重%) 及 P(1.20)>K(0.84)>Ca(0.59) (占干重%)。Ichihawa (1937) 对一种稻蝗 (*Oxya* sp.) 的成虫分析出: 雄性为: P(40.095)>K(21.776)>Na(17.102)>Si(8.638)>Mg(5.437)>Fe(1.593)>Ca(1.053)>S(0.671)>Mn(0.255) (占灰分%); 雌性为: P(46.095)>Na(20.208)>K(19.230)>Si(9.611)>Mg(3.852)>Ca(0.735)>Fe(0.687)>Mn(0.306)>S(0.272) (占灰分%)。此外, 从双带黑蝗新鲜成虫中, Melvin (1931) 分析出 Cu(0.216) (占鲜重%)。而 Moxon (1939) 则分析出 Se(4.66) (占鲜重%)。Vinogradov 等 (1930) 则在亚洲飞蝗散居型成虫中分析出 Mn (♂0.0021, ♀0.0014) (占鲜重%)。

前述文献从 7 种蝗虫中共分析出 13 种元素 (Na、Mg、Si、P、S、K、Ca、Ti、Mn、Fe、Ni、Cu、Se)。本报告从内蒙古锡林河草原上隶属于 3 亚科的 8 种蝗虫中初步分析出 28 种无机化学元素 (Be、B、Na、Mg、Al、Si、P、K、Ca、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、Ge、Sr、Y、Zr、Mo、Sn、Ba、Yb、Pb)。从分析结果可以大体看出:

(1) 不同蝗虫属种甚或同种不同性别间的无机化学元素组成种类的数目是不尽相同的; 从光谱半定量分析所涉及到的元素, 在本文内蝗虫中多数为 27 种。由于虫种及性别不同, 许多元素含量为零, 使元素组成种类的数目不尽相同。成虫中最多者为 26 种 (狭翅雏蝗雌性), 其次为 25 种 (狭翅雏蝗雄性、小翅雏蝗雌性); 23 种 (短星翅蝗雌性、毛足棒角蝗两性、宽翅曲背蝗雌性、红翅皱膝蝗两性); 22 种 (宽翅曲背蝗雌性、宽须蚁蝗两性、鼓翅皱膝蝗两性); 19 种 (短星翅蝗雄性、小翅雏蝗雄性)。在蝗蛹中, 宽须蚁蝗雄性为 26 种, 雌性为 23 种; 而狭翅雏蝗雄性为 24 种, 雌为 26 种。毛足棒角蝗的蝗卵则仅含 18 种元素。同种蝗虫雌性的元素含量一般多等于或大于雄者。

(2) 同种蝗虫不同虫态的化学元素组成也有所不同: 如狭翅雏蝗雄性蛹较其两性成虫

缺3种元素 (Ge、Zr、Y)，而雌性蝗蛹则仅缺1种元素 (Ge)。

(3) 8种蝗虫不同元素含量水平：锡林河流域8种蝗虫的不同元素含量反映着不同的特征 (表1)。

表1 内蒙古锡林河流域8种蝗虫不同元素含量 (占干重%)

table 1 different Contents of inorganic chemical elements in 8 species of Acridoids from Xilin River basin, Inner Mongolia (dry weight%)

项目 含 量 分	雄 虫 (♂)					雌 虫 (♀)					蝗虫 种数	元 素 含 量 水 平
	最低值	最高值	平均值	标准差	标准误差	最低值	最高值	平均值	标准差	标准误差		
全氮	12.12	14.68	13.30	0.97	0.49	11.47	13.40	12.35	0.82	0.41	5	高 含 量 元 素 ~10 ⁻¹
灰分	4.33	6.31	4.89	0.65	0.22	4.50	5.89	5.13	0.63	0.22	8	
钾 K	>0.4	>0.6	>0.5	—	—	>0.5	>0.6	>0.5	—	—	8	
硅 Si	0.3	0.6	>0.5	—	—	0.3	>0.6	>0.5	—	—	8	
镁 Mg	0.3	0.5	0.4	0.08	0.03	0.3	0.6	0.5	0.11	0.04	8	
钙 Ca	0.04	0.4	0.14	0.12	0.04	0.06	0.4	0.19	0.12	0.04	8	
钠 Na	0.1	0.2	0.15	0.05	0.02	0.1	0.2	0.15	0.05	0.02	8	
磷 P	>0.1	>0.2	>0.14	—	—	>0.1	>0.2	>0.15	—	—	8	
铁 Fe	0.03	0.13	0.08	0.03	0.01	0.02	0.19	0.09	0.05	0.02	8	
铝 Al	2 × 10 ⁻³	0.21	0.08	0.08	0.03	3 × 10 ⁻³	0.37	0.14	0.13	0.04	8	
锌 Zn	2 × 10 ⁻²	4 × 10 ⁻²	3 × 10 ⁻²	7 × 10 ⁻³	2 × 10 ⁻³	2 × 10 ⁻²	4 × 10 ⁻²	3 × 10 ⁻²	8 × 10 ⁻³	4 × 10 ⁻³	5	
锰 Mn	2 × 10 ⁻³	6 × 10 ⁻³	4 × 10 ⁻³	2 × 10 ⁻³	6 × 10 ⁻⁴	1 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻²	4 × 10 ⁻³	3 × 10 ⁻³	4 × 10 ⁻³	8	
钡 Ba	<4 × 10 ⁻⁴	7 × 10 ⁻³	<2.4 × 10 ⁻³	—	—	6 × 10 ⁻⁴	8 × 10 ⁻³	4 × 10 ⁻³	3 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻³	8	
钛 Ti	4 × 10 ⁻⁵	3 × 10 ⁻³	1.3 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻³	3 × 10 ⁻⁴	<5 × 10 ⁻⁴	5 × 10 ⁻³	<4 × 10 ⁻³	—	—	8	
锶 Sr	4 × 10 ⁻⁴	4 × 10 ⁻³	<1.5 × 10 ⁻³	—	—	<6 × 10 ⁻⁴	4 × 10 ⁻³	<2 × 10 ⁻³	—	—	8	
硼 B	7 × 10 ⁻⁵	3 × 10 ⁻³	1.1 × 10 ⁻³	1.3 × 10 ⁻³	4 × 10 ⁻⁴	9 × 10 ⁻⁵	3 × 10 ⁻³	1.6 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻³	5 × 10 ⁻⁴	8	
铜 Cu	5 × 10 ⁻⁴	3 × 10 ⁻³	1.5 × 10 ⁻³	9 × 10 ⁻⁴	3 × 10 ⁻⁴	7 × 10 ⁻³	2 × 10 ⁻³	2 × 10 ⁻³	2 × 10 ⁻³	8 × 10 ⁻⁴	8	
铅 Pb	3 × 10 ⁻⁵	9 × 10 ⁻⁴	<3 × 10 ⁻⁴	—	—	<5 × 10 ⁻⁵	9 × 10 ⁻⁴	<4 × 10 ⁻⁴	—	—	8	
锆 Zr	0	2 × 10 ⁻³	<4 × 10 ⁻³	—	—	0	2 × 10 ⁻³	<8 × 10 ⁻⁴	—	—	8	
铬 Cr	4 × 10 ⁻⁵	7 × 10 ⁻⁴	2 × 10 ⁻⁴	2 × 10 ⁻⁴	7 × 10 ⁻⁵	<5 × 10 ⁻⁵	2 × 10 ⁻³	<5 × 10 ⁻⁴	—	—	8	微 含 量 元 素 10 ⁻⁴ ~
镍 Ni	<4 × 10 ⁻⁵	3 × 10 ⁻⁴	<1.4 × 10 ⁻⁴	—	—	5 × 10 ⁻⁵	8 × 10 ⁻⁴	2 × 10 ⁻⁴	2.8 × 10 ⁻⁴	1 × 10 ⁻⁴	8	
钼 Mo	<4 × 10 ⁻⁵	1 × 10 ⁻⁴	<6 × 10 ⁻⁵	—	—	<5 × 10 ⁻⁵	2 × 10 ⁻⁴	<2 × 10 ⁻⁴	—	—	8	
钒 V	0	<6 × 10 ⁻⁵	<3.2 × 10 ⁻⁵	—	—	0	2 × 10 ⁻⁴	<1.5 × 10 ⁻⁴	—	—	5	
镓 Ga	0	<6 × 10 ⁻⁵	<3.8 × 10 ⁻⁵	—	—	<5 × 10 ⁻⁵	9 × 10 ⁻⁵	<6 × 10 ⁻⁵	—	—	8	
钴 Co	0	<6 × 10 ⁻⁵	<3.8 × 10 ⁻⁵	—	—	0	<6 × 10 ⁻⁵	<5 × 10 ⁻⁵	—	—	8	
锡 Sn	<4 × 10 ⁻⁵	<5 × 10 ⁻⁵	<5 × 10 ⁻⁵	—	—	<4 × 10 ⁻⁵	<6 × 10 ⁻⁵	<5 × 10 ⁻⁵	—	—	3	
钇 Y	0	5 × 10 ⁻⁵	1 × 10 ⁻⁵	2 × 10 ⁻⁵	9 × 10 ⁻⁶	0	6 × 10 ⁻⁵	2 × 10 ⁻⁵	3 × 10 ⁻⁵	1.3 × 10 ⁻⁵	5	
锗 Ge	0	<6 × 10 ⁻⁵	<1.8 × 10 ⁻⁵	—	—	0	<6 × 10 ⁻⁵	<2 × 10 ⁻⁵	—	—	6	
铍 Be	0	<5 × 10 ⁻⁶	<3 × 10 ⁻⁶	—	—	0	9 × 10 ⁻⁶	<4.5 × 10 ⁻⁶	—	—	8	
铋 Yb	0	5 × 10 ⁻⁶	1 × 10 ⁻⁶	2 × 10 ⁻⁶	9 × 10 ⁻⁷	0	<6 × 10 ⁻⁶	<3.2 × 10 ⁻⁶	—	—	5	

从表1可以看出:内蒙古锡林河流域8种蝗虫无机化学元素的含量水平初步分为4种类型。即高含量元素,如K、Si、Mg、Ca、Na、P,平均值范围: $0.5 \pm 0.09 - 0.14 \pm 0.1$ (%); 中含量元素,如Zn、Fe、Al,平均值范围: $0.14 \pm 0.11 - 3 \times 10^{-2} \pm 7 \times 10^{-3}$ (%); 低含量元素,如Ba、Sr、Mn、Cu、B、Ti,平均值范围: $4 \times 10^{-3} \pm 1 \times 10^{-3} - 1.1 \times 10^{-3} \pm 1 \times 10^{-3}$ (%); 微含量元素,如Cr、Y、Zr、Ni、Pb、Mo、Ga、V、Co、Ge、Be、Sn,平均值范围: $2 \times 10^{-4} \pm 2 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-6} \pm 2 \times 10^{-6}$ 等。还应指出的是8种蝗虫均分析到下列22种元素: K、Si、Mg、Ca、Na、P、Fe、Al、Ba、Sr、Mn、Cu、B、Ti、Cr、Ni、Pb、Mo、Ga、V、Co、Be。分析到Zn的则有5种蝗虫,即短星翅蝗、毛足棒角蝗、狭翅雏蝗、小翅雏蝗及红翅皱膝蝗; 分析到Zr的有6种蝗虫,即短星翅蝗、宽翅曲背蝗、宽须蚁蝗、狭翅雏蝗、小翅雏蝗、鼓翅皱膝蝗; 分析到Y和Yb的仅有3种蝗虫,即短星翅蝗、狭翅雏蝗及小翅雏蝗; 分析到Sn的也仅有3种蝗虫,即宽翅曲背蝗、宽须蚁蝗及鼓翅皱膝蝗; 分析到Ge的仅有2种蝗虫,即狭翅雏蝗及红翅皱膝蝗。

2. 8种蝗虫嗜食植物(16种)的无机化学元素

关于植物灰分组成元素的研究论文报告很多。较集中地讨论植物灰分元素的专著有候学煜等(1959)、Родин等(1965)、候学煜(1982); 而论文则陈佐忠等(1982)及黄德华等(1982)均有报道。作者以8种蝗虫嗜食及喜食的16种植物的不同取食部位为样品共分析23种元素Be、B、Na、Mg、Al、Si、P、K、Ca、Ti、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Ga、Sr、Zr、Mo、Sn、Ba、Pb。它们的含量水平也不同(表2)。

从表2可以看出:内蒙古锡林河流域8种蝗虫的16种嗜食及喜食植物无机化学元素的含量水平,也可分为4种类型:高含量元素,如Si、K、Mg、Ca、Al、P,平均值范围为 $0.8 \pm 0.6 - 0.13 \pm 0.06$ (%); 中含量元素,如Fe、Na,平均值范围为 $0.08 \pm 0.04 - 0.07 \pm 0.02$ (%); 低含量元素,如Ba、Mn、Ti、B,平均值范围为 $7 \times 10^{-3} \pm 4 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$ (%); 微含量元素,如Cu、Sr、Cr、Ni、Pb、Zr、Mo、Co、Sn、Ga、B,平均值范围为: $3 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-6}$ (%)等。

分析结果表明,16种食料植物随不同科属,不同取食部位,其物质含量不同。

1) 灰分及蛋白质含量 一般叶中含量较高,花穗内次之,茎中最低。如落草灰分含量:叶9.65%、穗8.67%、茎4.28%; 全氮含量:叶2.80%、穗1.56%、茎0.97%。又如菊叶萎陵菜,叶中灰分12.19%、全氮2.66%; 而花中则灰分为11.73%、全氮1.77%。禾本科植物灰分含量为6.42—9.65%,全氮含量1.62—3.50%。菊科植物灰分8.95—10.60%,全氮含量2.93—3.09%。蔷薇科植物灰分7.64—12.19%,全氮2.66%—2.92%。豆科植物灰分7.65—8.29%,全氮3.74—4.07%。灰分以菊科、蔷薇科植物高于豆科及禾本科植物。而全氮则豆科植物居首位,菊科、蔷薇科次之,禾本科较低。

2) 矿质元素含量 16种食料植物中微含量级元素Cr、Co、Ni、Ga、Zr、Mo、Pb的含量相等或接近,个别出现偏高或偏低。如早熟禾茎中Cr、Ni、Pb含量高2—4倍; 变蒿花中缺Co; 而Ni却高2倍; 小叶锦鸡儿花中的Ni竟比一般高出40倍; 早熟禾茎及菊叶萎陵菜中的Pb,则高出3倍。Be含量在已分析到的元素中为最低,其最高含量仅达 $< 1 \times 10^{-5}$ %,并有8种植物未分析到Be。低含量级元素,中含量级元素及高含量级元素,都较均匀地分布在各该元素含量水平范围内,差异不明显。只柴胡中Al含量低达 4×10^{-3} %; P低达 4×10^{-2} %。而

表 2 内蒙古锡林河流域蝗虫的16种嗜食植物不同元素含量(占干重%)

table 2 different contents of inorganic chemical elements in 16 species of feeding plants of Acridoids from Xilin River Basin, Inner Mongolia (dry weight%)

成分	项目	最低值	最高值	平均值	标准差	标准误差	种数	元素含量水平	
全氮		1.91	4.07	2.80	0.58	0.15	16	高含量元素 ~10 ⁻¹	
灰分		6.42	12.19	8.67	1.47	0.38	16		
硅	Si	>0.6	>1.2	>0.9	—	—	16		
钾	K	>0.6	>1.2	>0.9	—	—	16		
镁	Mg	0.4	1	0.8	0.2	0.05	16		
钙	Ca	0.1	1	0.5	0.3	0.07	16		
铝	Al	0.004	0.61	0.16	0.16	0.04	16		
磷	P	0.03	0.37	0.13	0.12	0.03	16		
钠	Na	0.02	0.24	0.08	0.07	0.02	16		中含量元素 ~10 ⁻²
铁	Fe	0.02	0.15	0.07	0.04	0.01	16		
钡	Ba	0.001	0.02	0.007	0.007	0.002	16	低含量元素 ~10 ⁻³	
钛	Ti	9 × 10 ⁻⁴	7 × 10 ⁻³	3 × 10 ⁻³	2 × 10 ⁻³	4 × 10 ⁻⁴	16		
锰	Mn	9 × 10 ⁻⁴	8 × 10 ⁻³	<3 × 10 ⁻³	—	—	16		
硼	B	1 × 10 ⁻⁴	4 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻³	3 × 10 ⁻⁴	16		
铜	Cu	2 × 10 ⁻⁴	6 × 10 ⁻⁴	3 × 10 ⁻⁴	1 × 10 ⁻⁴	2 × 10 ⁻⁵	16		
锶	Sr	6 × 10 ⁻⁴	7 × 10 ⁻³	<3 × 10 ⁻⁴	—	—	16	微含量元素 10 ⁻⁴ ~	
铅	Pb	<6 × 10 ⁻⁵	4 × 10 ⁻⁴	<1 × 10 ⁻⁴	—	—	16		
锆	Zr	<6 × 10 ⁻⁵	2 × 10 ⁻⁴	<9 × 10 ⁻⁵	—	—	16		
铬	Cr	<6 × 10 ⁻⁵	1 × 10 ⁻⁴	<8 × 10 ⁻⁵	—	—	16		
镍	Ni	6 × 10 ⁻⁵	<1 × 10 ⁻⁴	<8 × 10 ⁻⁵	—	—	16		
钼	Mo	<6 × 10 ⁻⁵	1 × 10 ⁻⁴	<8 × 10 ⁻⁵	—	—	16		
钴	Co	<6 × 10 ⁻⁵	1 × 10 ⁻⁴	<8 × 10 ⁻⁵	—	—	16		
锡	Sn	<6 × 10 ⁻⁵	<1 × 10 ⁻⁴	<8 × 10 ⁻⁵	—	—	16		
镓	Ga	<6 × 10 ⁻⁵	<1 × 10 ⁻⁴	<8 × 10 ⁻⁵	—	—	16		
铍	Be	0	<1 × 10 ⁻⁵	<3 × 10 ⁻⁶	—	—	16		

禾本科植物Al及P的含量一般低于其他各科。

3. 蝗虫与其嗜食植物间的无机化学元素

蝗虫与其食料植物之间的关系,在选食行为以及不同食料植物对蝗虫的生长发育和繁殖等关系方面有许多研究报道(钦俊德等,1957;钦俊德,1962、1980;李鸿昌等,1983;Williams,1954;Mulkern,1967;Uvarov,1977)。然而,对于蝗虫及其食料植物之间的化学元素组成与相互关系的研究尚少报道。从以上8种蝗虫及其16种嗜食及喜食植物的分析结果可以看出:蝗虫灰分百分含量明显低于食料植物。蝗虫为4.33—6.31% (多数在4.5—

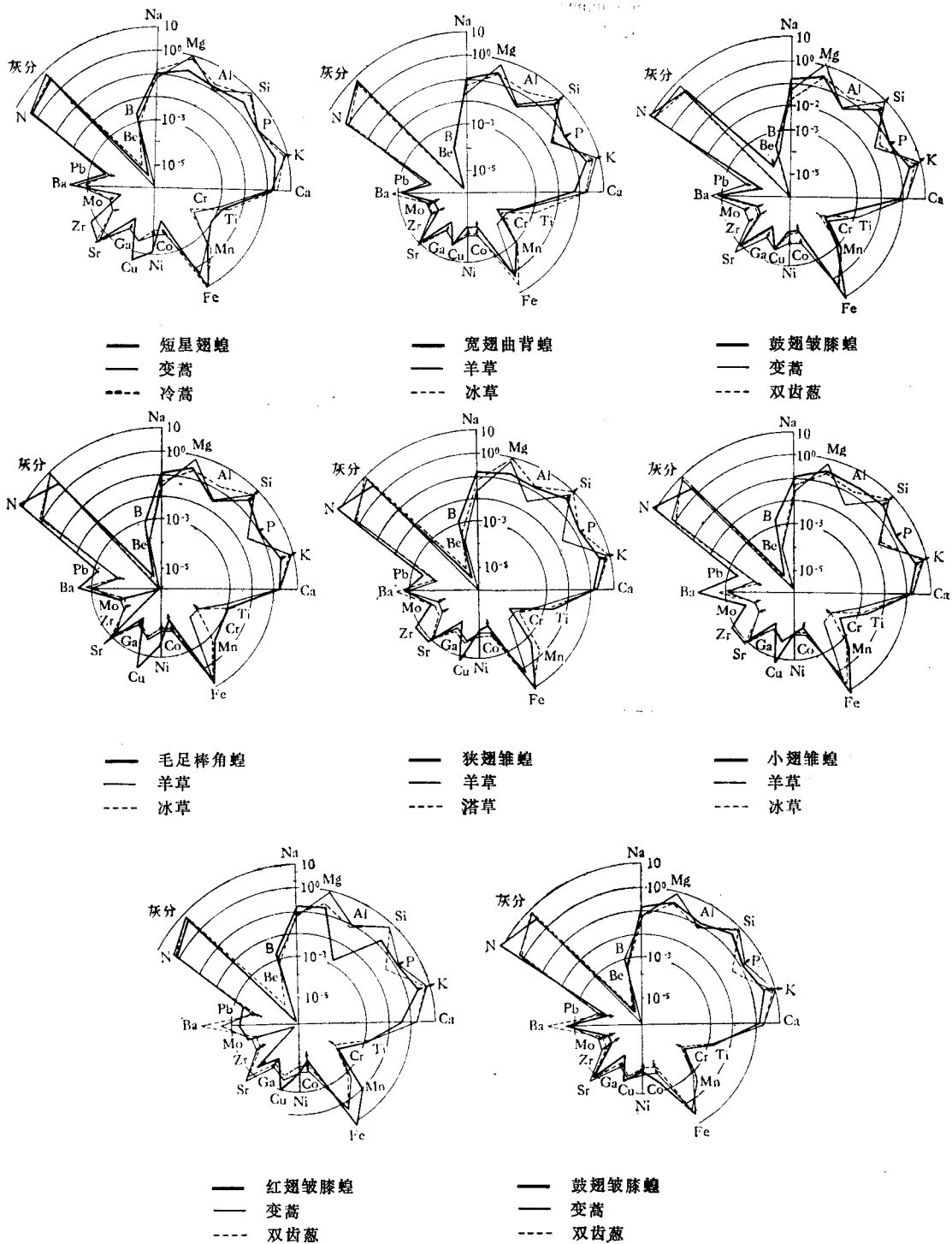


图 1—8 内蒙古锡林河流域八种蝗虫及其嗜食植物化学元素比较

fig. 1—8 comparison of inorganic chemical elements between 8 species of acridoids and their feeding plants of Xilin River Basin, Inner Mongolia

注：化学元素按原子序数顺时针排列（氮及灰化例外）↑向心表示小于该含量；背心，表示大于该含量

5.5%左右), 平均值范围♂ $4.89 \pm 0.54(\%)$; ♀ $5.13 \pm 0.52(\%)$ 。植物则为6.42—12.19% (多数在6—8%左右), 平均值范围为 $8.67 \pm 0.81(\%)$ 。全氮量百分比则以蝗虫明显高于嗜食植物。蝗虫为11.47—14.68%。(多数在12—14%左右), 平均值范围; ♂ $13.30 \pm 1.35\%$; ♀ $12.35 \pm 1.14(\%)$ 。食料植物为1.91—4.07% (多数在2—3%左右), 平均值范围为 $2.80 \pm 0.32(\%)$ 。至于蝗虫及其嗜食植物的无机化学元素组成关系, 可以隶属不同3亚科的8种蝗虫及其嗜食植物的元素含量分布图中比较看出(图1—8)。

从图1—8可以看出: 内蒙古锡林河流域8种蝗虫及其嗜食植物的无机化学元素的组成成分有较明显的一致性。在元素含量水平的高含量元素, 有同一元素或者相近或者植物的含量常低于蝗虫的趋向; 在中含量元素则同一元素表现出植物的含量常低于蝗虫; 而在低含量和微含量元素则植物亦常低于蝗虫, 但有些种类则相近或相反。至于不同蝗虫及其嗜食植物的元素(吸收)序列上, 则有其差异性。

最后, 应当指出: 探讨蝗虫及其食料植物中化学元素组成关系的初步研究, 是在广范围筛选性工作中采用光谱半定量分析技术进行元素定性。在此基础上, 将进一步采用定量分析技术深入研究蝗虫与食料植物间的物质含量关系。

参 考 文 献

- 李鸿昌、席瑞华、陈永林 1983 内蒙古典型草原蝗虫食性的研究 I. 罩笼供食下的取食特性. 生态学报3(3): 214—228.
- 侯学煜、林厚宣、章慧麟 1959 中国150种植物的化学成分及其分析方法. 高等教育出版社.
- 侯学煜 1982 中国植被地理及优势种植物化学成分. 第188—209页. 科学出版社.
- 钦俊德、郭 鄂、郑竺英 1957 东亚飞蝗的食性和食物利用以及不同食料植物对其生长和生殖的影响. 昆虫学报 7(2):143—166.
- 钦俊德 1962 植食性昆虫的食性和营养. 昆虫学报11(2):169—185.
- 钦俊德 1980 植食性昆虫食性的生理基础. 昆虫学报23(1):106—123.
- Giral, F. 1954 Aceites de insectes VII. Distribucion filogenetica del azufere toxico. *Ciencia Mex.* 14(7—8):163—164.
- Lapp, C. and J. Rohmer, 1937 Composition et valeur alimentaire du criquet pélerin. *Bull. Soc. Chem. Biol.* 19:321—324.
- Melvin, R. 1931 A quantitative study of copper in insects. *Ann. Ent. Soc. Amer.* 24:485—488.
- Mulkern, G. B. 1967 Food selection by grasshopper. *Ann. Rev. Ent.* 12:59—78.
- Peterson, P. J. 1971 Unusual accumulations of elements by plants and animals. *Science progress* (59):505—526.
- Schroder, von Johannes 1909 Versuche zur Bekämpfung der Wanderheuschrecke mit Chemischen Produkten. *Zeitschrift Pflanzenkrankheiten* XIX:1—18.
- Uvarov, E. B. 1931 The ash content of insects. *Bull. Ent. Res.* 22:453—457.
- Uvarov, B. P. 1966 Grasshoppers and Locusts. Vol.1. COPR.
- Uvarov, B. P. 1977 Grasshoppers and Locusts. Vol.2. COPR.
- Williams, L. H. 1954 The feeding habits and food preferences of Acrididae and the factors which determine them. *Trans. Roy. Ent. Soc. London.* 105:423—454.
- Родин, Л. Е. И Н. И. Базилевин 1965 Динамика органического вещества и биологический круговорот солевых элементов и Азота в основных типах растительности зимнего шара. стр. 147—162. изд. «наука» москва-ленинград.
- Титлянова, А. А. 1972 О химическом элементарном составе некоторых видов *Artemisia*. ьотан. журн. 57(4):469—481.

PRELIMINARY STUDIES ON THE INORGANIC CHEMICAL CHARACTERISTICS OF MAIN ACRIDOIDS AND THEIR FEEDING PLANTS IN NEI MONGOL STEPPE

Chen Yonglin Li Hongchang

(*Institute of Zoology, Academia Sinica*)

Chang Huilin Ye Yunxian Ren Lienkui

(*Ecological Research Center, Academia Sinica*)

This paper deals with the studies on the characteristics of inorganic chemical compositions of the main acridoids and their feeding plants. All the acridoids and relevant plants were collected from the Station of Nei Mongol Steppe Ecosystem, Academia Sinica and its neighbour regions. These acridoids are: *Calliptamus abbreviatus*, *Pararcyptera microptera meridionalis*, *Myrmeleotettix palpalis*, *Dasyhippus barbipes*, *Chorthippus dubius*, *Chorthippus fallax*, *Angaracris rhodopoda*, *Angaracris barabensis*. The characteristics of the different percentages of the inorganic chemical components and their quantitative relations were also compared and discussed (table 1,2). The different inorganic chemical compositions of the above mentioned acridoids and their feeding plants were figured (fig. 1—8).