

## 子馬の銅・亜鉛欠乏症の発生要因

誌名	栄養生理研究会報
ISSN	02864754
巻/号	441
掲載ページ	p. 57-71
発行年月	2000年4月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 子馬の銅・亜鉛欠乏症の発生要因

朝 井 洋

(日本中央競馬会 日高育成牧場)

### 1 はじめに

ウマは、その用途上、運動能力が問われる家畜であり、運動器障害、とくに骨疾患との関連で両ミネラルの欠乏や過剰あるいは他のミネラルとのバランスが議論されてきた。Egan and Murrin<sup>1)</sup>は、骨形成異常を認めたサラブレッド子馬に銅を投与したところ、血中銅濃度の上昇とともに症状に改善が認められ3ヵ月で治癒したことを報告したが、ウマの銅栄養に関する報告としては先駆的であった。また、Carbery<sup>2)</sup>は、血中銅濃度が極めて低値であり、かつ骨疾患を発症した2ヵ月齢の子馬に銅を投与したところ、1ヵ月で血中銅濃度が上昇し、骨疾患は3ヵ月で完治したと報告している。これらの症例は、発育過程にあるウマの銅欠乏由来の骨疾患を報告したものであったが、後に、オステオコンドロシスなど発育時期にあるウマの軟骨病変を主とした骨疾患群として議論されるMBD (Metabolic Bone Disease)<sup>3)</sup>あるいはDOD (Developmental Orthopedic Disease)<sup>4)</sup>と同一のものであったと考えられる。

1980年代になるとウマのDODに関する報告が相次いでなされ、栄養との関連が解明されてきた。Bridgesら<sup>5)</sup>は、軟骨内の化骨異常すなわちオステオコンドロシスを発症した哺乳期の子馬(いずれも生後4ヵ月以内)の血清中の銅およびセルロプラスミンの濃度は正常値に比べ低いこと、また発症子馬の血清中亜鉛濃度が高かったことから銅欠乏と亜鉛代謝との関連について示唆し、他の動物種で報告<sup>6,7)</sup>されているモリブデン過剰に由来する銅欠乏に類似していることを報告した。一方、亜鉛の過剰摂取が銅の代謝異常を引き起こし、結果的に銅欠乏と同様の臨床症状を発症するという報告が相次いでなされたのもこの頃であった。すなわち、Messer<sup>8)</sup>は自然環境から過剰に亜鉛を摂取した発育時のウマの関節異常と血清中亜鉛濃度の上昇は銅を添加することで改善され

---

Studies on the factors of copper and/or zinc deficiency in foals

Yo Asai

(Japan Racing Association Hidaka Training Farm)

たことを報告した。また、Gunsonら<sup>9)</sup>は、亜鉛精練所付近で飼養されていた子馬に多発する銅代謝異常と同様の骨疾患は、亜鉛の過剰摂取によるものであることを報告し、Eamensら<sup>10)</sup>も別の地域において同様の知見を発表した。これらの報告にみるように、亜鉛については欠乏よりも過剰による二次的銅欠乏が問題となっていた。1985年にはKnightら<sup>11)</sup>がアメリカの軽種馬生産地帯であるオハイオおよびケンタッキー州で子馬の骨疾患と栄養に関する疫学調査の成績を報告している。これにより、骨疾患の発症は飼料中のカルシウム、リン、銅および亜鉛の不足が関与し、NRC<sup>12)</sup>が推奨する要求量も発症を予防するには低いことを示唆すると同時に、ウマに適したミネラル補給方法を今後確立していく必要があることを提言した。

日本におけるウマの骨疾患と栄養に関する報告はほとんどみあたらない。益満ら<sup>13)</sup>は日本で生産された若いウマの8%に骨疾患を認めたと報告しているが、栄養との関連については考察で触れるにとどまっている。

日本では北海道を中心に年間約10,000頭余の軽種馬が生産されており、そのほとんどは競走馬を目的としたものである。近年、日本の競馬競走を外国馬にも開放する動きがあり、より一層健康で丈夫なウマを生産することは日本の軽種馬生産の健全維持および発展のための必要条件であると考えられる。とくに、骨形成に重要な時期である哺乳期から育成期にかけてミネラル栄養を適正なものとするのは、その重要な条件である。

そこで、子馬が摂取する銅および亜鉛の総量を要求量と比較検討し、わが国における子馬の銅および亜鉛の欠乏症発生の要因について検討し、あわせて、哺乳期の子馬における銅、亜鉛補給方法について考察を加えることを目的として行なった研究の成績について紹介する。

## 2 子馬の骨端症発症と銅および亜鉛の栄養

子馬の前肢に発症する骨端症は、発症部位によって発症時期が異なる。北海道日高地方の25の軽種馬生産牧場で調査したところ、球節部骨端症(図1)は3-7ヵ月齢で、腕節部骨端症(図2)は12-18ヵ月齢で発症のピークを認めた。また、球節部骨端症は、25牧場すべてにおいて重度あるいは中等度の発症馬を認め、それぞれ全調査対象馬の3.6%、19.4%であり、腕節部骨端症は15牧場において重度あるいは中等度の発症馬を認め、それぞれ3.0%、4.8%であった。また、牧場によって球節部骨端症と腕節部骨端症の発症状況に関連があるか否かについて検討したところ、発症率がともに低い牧場もあれば、いずれか一方が高い牧場もあり、明らかな関係は認められなかった。個体レベルにおいても、両骨端症をともに



Fig.1 Epiphysitis of the fetlock joint is characteristic of enlargement of the distal end of the third metacarpus and proximal first phalanx in the forelimb of a foal (show a case of 5 months of age).



Fig.2 Epiphysitis of the knee joint is characteristic of enlargement of the distal end of the radius in the forelimb of a foal (show a case of 16 months of age).

Table 1 The evidence of epiphysitis of the fetlock joint and the average of dietary copper and zinc contents (mg/kg\*\*) at weaning

Farm	No. of horses	Epiphysitis of the fetlock joint*			Dietary contents (mg/kg**) at weaning			
		No. of severe (%)	No. of moderate (%)	Total (%)	Cu	Zn		
<Group I>								
C	4	1 (25.0)	0	1 (25.0)	5.2* ±2.0	28.7* ±8.1		
L	16	3 (18.8)	4 (25.0)	7 (43.8)				
G	6	1 (16.7)	1 (16.7)	2 (33.3)				
Y	6	1 (16.7)	0	1 (16.7)				
A	8	1 (12.5)	0	1 (12.5)				
N	10	1 (10.0)	2 (20.0)	3 (30.0)				
T	10	1 (10.0)	2 (20.0)	3 (30.0)				
U	28	1 (3.6)	4 (14.3)	5 (17.9)				
<Group II>								
P	15	0	7 (46.7)	7 (46.7)	7.5 <sup>ab</sup> ±3.1	38.9 <sup>ab</sup> ±17.5		
Q	13	0	5 (38.5)	5 (38.5)				
K	11	0	4 (36.4)	4 (36.4)				
E	10	0	3 (30.0)	3 (30.0)				
F	7	0	2 (28.6)	2 (28.6)				
X	4	0	1 (25.0)	1 (25.0)				
O	12	0	3 (25.0)	3 (25.0)				
J	10	0	2 (20.0)	2 (20.0)				
<Group III>								
D	25	0	4 (16.0)	4 (16.0)			10.3 <sup>b</sup> ±4.5	53.5 <sup>b</sup> ±22.0
M	19	0	3 (15.8)	3 (15.8)				
S	8	0	1 (12.5)	1 (12.5)				
R	8	0	1 (12.5)	1 (12.5)				
B	9	0	1 (11.1)	1 (11.1)				
W	9	0	1 (11.1)	1 (11.1)				
V	9	0	1 (11.1)	1 (11.1)				
I	10	0	1 (10.0)	1 (10.0)				
H	11	0	1 (9.1)	1 (9.1)				
	278	10 (3.6)	54 (19.4)	64 (23.0)	7.8 ±3.9	40.9 ±19.5		

\* Distal end of the metacarpus and proximal first phalanx.

\*\* on a dry matter basis.

a, b Means with different superscripts differ significantly at P<0.05.

The farms which severe (Group I), moderate and their incidences were over 20.0% (Group II) or moderate and their incidences were under 20.0% (Group III) epiphysitis of the fetlock joint were observed.

に低かった。また、亜鉛についても同様の傾向が認められ、Group IはGroup IIIに比べ低かった (P<0.05)。これらのことから、子馬の球節部骨端症の発症は、給与飼料中の銅、亜鉛の不足が関与していることが示唆された。なお、牧場間に認められた飼料中の銅、亜鉛含量の相違は、給与されていた市販の配合飼料や飼料添加物中の銅、亜鉛濃度に大きな差異があり、それらの選択と給与量の違いによって生じたものであった。

球節部骨端症の程度が重度あるいは中等度であった発症馬の各牧場調査馬に占める割合を球節部骨端症発症率とし、各牧場における離乳直後の給与飼料中の銅および亜鉛含有量との相関を図3、4に示す。銅、亜鉛いずれについてもその含有量と発症率との間には有意 (P<0.05) な負の相関を認め、それぞれの回帰式から、銅では約25mg/kg、亜鉛では約137mg/kgが球節部骨端症の発症を予防する上で必要であることが示唆された。

骨端症と臨床症状が類似するオステオコンドロシ

発症したウマや、いずれか一方のみ発症したウマも認められ、両骨端症の発症に関連性は認められなかった。

表1は、球節部骨端症について、重度発症馬を認めた8牧場をGroup I、中等度発症馬を認め、その占める割合が20%以上であった8牧場をGroup II、同じく20%未満であった9牧場をGroup IIIとして、その発症時期にあたる離乳 (平均6ヵ月齢) 直後において各牧場で給与されていた飼料 (乾物あたり) に含まれる銅および亜鉛の含有量を各グループごとの平均値で示したものである。これより、Group Iの飼料中の平均銅含有量は5.2mg/kgであり、Group IIIの10.3mg/kgに比べ有意 (P<0.05)

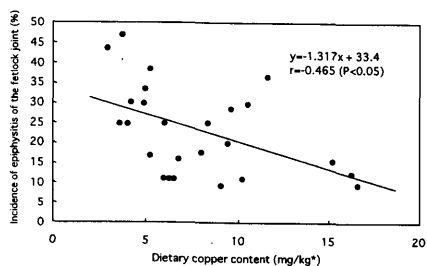


Fig. 3 Relationship between the incidence of epiphysitis of the fetlock joint and dietary copper content (mg/kg\*) at weaning.

\* dry matter basis.

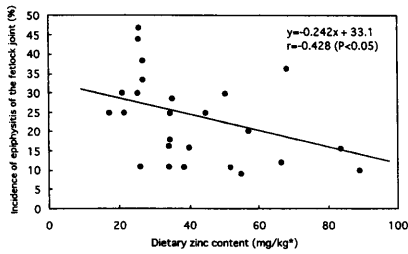


Fig. 4  
Relationship between the incidence of epiphysitis of the fetlock joint and dietary zinc content (mg/kg\*) at weaning.

\* dry matter basis.

す様骨疾患は、発育期にある多くの動物種で認められている<sup>14, 15</sup>。いずれも軟骨の成長過程における形成不全であり、ミネラルとの関連では、カルシウムの過不足<sup>11, 16</sup> やリンの過剰<sup>17</sup> がその要因であるとする報告のほか、銅欠乏の関与を指摘する報告は多い<sup>2, 5, 11, 18, 19</sup>。銅は生体内の各種酵素の構成要素であり、銅欠乏によりこれら酵素の活性低下をまねくが、特にコラーゲンの架橋形成に重要な役割を果たすリシロキシダーゼ活性の低下は、骨コラーゲンの構造を不完全なものとする<sup>20</sup>。ウマにおいても、銅欠乏による関節軟骨内の可溶性コラーゲンの増加が確認されており<sup>21</sup>、これらのことが、子馬の球節部骨端症の発症にも作用していたと考えられた。しかし、球節部骨端症の発症ピークから約10ヵ月遅れて発症する腕節部骨端症では銅欠乏との関連は明らかではなかった。この発症時期にあたる12-18ヵ月齢の子馬はすでに離乳を終え、春から初夏にあたる穏やかな気候条件のもとで、放牧地でもっとも活発に運動をする時期でもある。発育期の運動抑制は、骨端症の発症<sup>22</sup> や骨強度の低下<sup>23</sup> をまねくとされているが、今回の対象馬にこのことは該当しないと考えられる。しかし、土壌硬度など放牧地の物理性状によっては、運動が悪影響を及ぼす可能性は十分考えられる。また、エネルギーやタンパク質の過剰摂取による急速な増体が骨端症発症の要因となることが報告されており<sup>24</sup>、発育が抑制される冬期<sup>25</sup> 以後の代償的な増体が個体レベルで発症に関わったことも予測される。したがって、個体を取りまく環境が比較的単純である生後5ヵ月齢前後で認められた球節部骨端症の発症と銅欠乏の関係が腕節部骨端症において認められなかったのは、運動や発育などの要因が複雑に作用したためと考えられた。あるいは、子馬の銅の必要量が、哺乳期から離乳ころまでの発育旺盛期とその後の時期とで異なり、今回の成績において、球節部骨端症発症時期では明らかに不足していたが、腕節部骨端症発症時期では飼料中の銅含量が生体の要求量に比較的近かった可能性も考えられ、今後、各発育段階での詳細な検討が必要と思われた。

一方、亜鉛摂取と骨端症の発症状況との関連は銅とほぼ同様の関係が認められ、球節部骨端症と亜鉛欠乏との関連が示唆された。子豚、子牛では亜鉛欠乏によって長骨の強度減少や骨重量の低下が認められており<sup>26</sup>、ウマでは、Knightら<sup>11</sup>）によって骨疾患との関連が報告されている。亜鉛欠乏による骨障害の発症機序は明らかにされていないが、骨コラーゲナーゼ活性およびコラーゲン代謝が低下することによる骨形成不全が一因であると考えられている<sup>27</sup>。しかし腕節部骨端症については、亜鉛欠乏との関連は認められず、銅で考察したのと同様、他の要因の作用や、あるいは発育時期の違いによる必要量の相違の可能性が考えられた。

NRC<sup>28</sup>）による銅および亜鉛の必要量は、成馬維持、妊娠および泌乳中のウマ、運動中のウマに差はなく、それぞれ10および40mg/kg（乾物飼料中）である。今回の成績で得た回帰直線から求め

られる球節部骨端症の発症率を0とする銅および亜鉛の含量は、それぞれNRCの2.5倍（乾物飼料中25ppm）、3.4倍（乾物飼料中137ppm）である。上述したように発育が進むにつれ必要量が減少することも考えられるが、Gabelら<sup>29)</sup>はアメリカの軽種馬生産牧場での調査から、発育中のウマでは乾物飼料中銅は20-25ppm、亜鉛は60-70ppm必要であると考察している。今回の成績は、銅についてはGabelら<sup>29)</sup>とほぼ一致した結果を得たが、亜鉛では約2倍の値となった。銅と亜鉛の吸収には相互間に拮抗作用があることも知られており、亜鉛の過剰摂取による二次的な銅欠乏がウマにおいても報告されている<sup>8, 9, 10, 30)</sup>。一方、過剰の亜鉛はウマの銅代謝に影響を及ぼさなかったとする報告<sup>31)</sup>もみられる。銅と亜鉛の摂取比率が骨代謝に及ぼす影響や、カルシウムやリンなど他のミネラルの共存が銅、亜鉛の利用に及ぼす影響について今後さらに検討を要すると考えられた。

### 3 子馬の乳摂取量および乳由来銅、亜鉛摂取量

子馬の平均離乳月齢は生後6カ月である。この間、子馬は母乳を主要な栄養摂取源として成長するが、クリープフィーディングによる栄養補給を慣習的に行なっている牧場も少なくない。しかし、その開始時期や給与量に関する明解な指針はなく、NRC<sup>28)</sup>においても詳細は明記されていない。一方、子馬の発育過程で発症する骨疾患（DOD：Developmental Orthopedic Disease）は哺乳期から認められ<sup>5, 17)</sup>、増体速度の調整<sup>24)</sup>やミネラルの充足および摂取バランスの調整<sup>11)</sup>が飼養管理上重要となる。このためには、子馬の乳摂取量ならびに乳から摂取する栄養素の量について知る必要があるが、これらに関する報告は極めて少ない。また、わが国の飼養環境下において検討された例はない。

そこで、北海道日高地方の一般的な軽種馬生産牧場で飼養されているサラブレッド子馬の乳摂取量を推定した。乳摂取量の推定は、馬房内収容時間帯において、子馬の吸乳前後で体重を精密に測定し、その差を乳摂取量とした。なお、使用した精密体重計（メトラ社製：本体モデルKD1500、指示計ID3に動物秤量プログラムを組み込んだタイプ）は、10グラム単位で測定可能である。また同時に授乳時間を測定し、これと体重差から推定した乳摂取量から、単位時間あたりの乳摂取量（吸乳速度）を算出した。この一連の作業を1日あたり約10回行ない、平均吸乳速度を得た。一方、子馬が馬房内あるいは放牧地で1日あたりに乳を摂取する総時間を計測し、これと平均吸乳速度との積を1日あたりの乳摂取量とした。以上の方法によって、3日齢、1、3、7、10および17週齢における各子馬の乳摂取量を推定した。

その結果、1日あたりの平均乳摂取量は1週齢までは19kg前後であったが、その後緩やかに減少する傾向が認められ、10週齢以降の乳摂取量は1週齢までに比べ明らかに低い値であった（表2）。これを、子馬の単位体重あたりの摂取量で示すと、週齢の経過とともに一様に低下する傾向が認められた（図5）。子馬が乳から摂取した1日あたりのミネラル量の平均値（表3）は、銅では、1週齢までは12-13 mgであったが、3-10週齢では約7 mgに低下し、17週齢では3.6mgにまで低下した。亜鉛も、1週齢までは50-60 mgであったが、3-7週齢では36-38 mg、10-17週齢では約26 mgに

Table 2 Milk intake and suckling behavior of foals

	Age of foals					
	3 days	1 week	3 weeks	7 weeks	10 weeks	17 weeks
Milk intake	19.0 <sup>ab</sup>	19.4 <sup>a</sup>	16.5 <sup>b</sup>	16.2 <sup>abc</sup>	13.0 <sup>c</sup>	11.4 <sup>c</sup>
(kg/day)	±3.0	±4.1	±2.1	±4.1	±3.6	±2.3
Milk intake/BW	32.3 <sup>a</sup>	28.8 <sup>a</sup>	18.7 <sup>b</sup>	13.0 <sup>c</sup>	8.5 <sup>d</sup>	5.6 <sup>e</sup>
(kg/day/100kgBW)	±7.2	±5.3	±2.6	±2.8	±1.8	±0.9
Milk intake at a bout of suckling	237 <sup>a</sup>	262 <sup>ab</sup>	297 <sup>bc</sup>	356 <sup>c</sup>	334 <sup>bc</sup>	314 <sup>bc</sup>
(g)	±51	±109	±52	±104	±87	±60
No. of bouts of suckling/day	86.6 <sup>a</sup>	86.1 <sup>a</sup>	59.6 <sup>b</sup>	48.4 <sup>c</sup>	41.0 <sup>cd</sup>	37.6 <sup>d</sup>
(No./day)	±21.9	±16.6	±7.4	±5.1	±10.5	±4.9
Cumulative time of suckling/day	107.6 <sup>a</sup>	91.4 <sup>a</sup>	55.1 <sup>b</sup>	38.4 <sup>c</sup>	30.8 <sup>cd</sup>	30.1 <sup>d</sup>
(min./day)	±33.6	±32.5	±11.9	±4.6	±8.9	±3.8
Interval time of suckling	17.9 <sup>a</sup>	17.1 <sup>a</sup>	24.3 <sup>b</sup>	30.0 <sup>c</sup>	37.0 <sup>cd</sup>	38.9 <sup>d</sup>
(min.)	±5.9	±4.0	±3.0	±3.3	±11.0	±5.4

Values are means ± SD.

a,b,c,d,e Means in the same row with different superscripts differ (P<0.05).

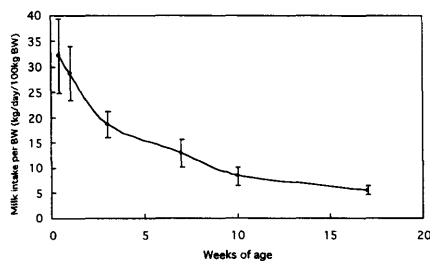


Fig. 5 Milk intake per body weight of foals at various age. Points are means with their standard deviations represented by vertical bars.

まで低下した。

乳摂取量は週齢の経過とともに、概ね低下する傾向が認められたが、個体差は比較的大きかった。しかし、子馬の単位体重あたりの乳摂取量では、各時期におけるバラツキも少なく、一様に低下していくことが認められた。このことは子馬の発育にともなう乳依存度の低下を示唆するものと考えられた。

子馬の乳摂取量は、母馬の産乳量としてとらえることができる。今回得られた乳摂取量を母馬の平均体重547kgに対する百分率で示すと、1週齢までは3.5%、3-7週齢では3%、10-17週齢では約2%となる。繁殖雌馬の泌乳量は、泌乳前期（分娩後1-12週）で体重の3%、泌乳後期（分娩後13-24週）で体重の2%とされており<sup>28)</sup>、本試験の成績はこれらとよく一致した。

銅および亜鉛の要求量については、NRC<sup>28)</sup>に示されている飼料摂取量（乾物あたり）の基準が体重の2.5%であること、銅の要求量は飼料1kg中10mg、亜鉛の要求量は飼料1kg中40mgであることから算出し、これらと乳から摂取する銅および亜鉛量を比較（表3）したところ、カルシウムなどと同様、週齢が進むにつれ要求量との差は大きくなっていくことが認められた。なお、亜鉛については3日齢でのみ、乳からの摂取量は要求量を充足していた。

以上暫定的な要求量との比較ながら、乳からのミネラル摂取は子馬の要求量を満たすものではないと考えられた。銅、亜鉛に限れば、子馬は胎内で母体から供給を受けたこれらミネラルを肝臓に蓄え誕生するが、その蓄積量は大きな個体差があるとされている<sup>32)</sup>。また、体内蓄積銅にのみ銅栄養を依存させた子馬では、10週齢から血症中銅濃度の低下が観察され、13-17週齢で明らかな銅欠乏を認めたと報告<sup>21)</sup>されていることから、子馬の銅栄養は乳からの摂取よりも体内蓄積銅の方が依存度は高いが、生後2-3カ月頃には蓄積銅の作用も低下し始めるため、外部から摂取する必要があると考えられた。

Table 3 Mineral intake from milk in foals

Mineral	Daily intake at various age					
	3 days	1 week	3 weeks	7 weeks	10 weeks	17 weeks
Ca (g)	20.3 <sup>ab</sup> ±4.5 range <sup>1)</sup> 14.3-27.0 requirement <sup>2)</sup> 42.2	24.6 <sup>a</sup> ±6.3 19.4-37.1	17.2 <sup>b</sup> ±2.4 14.1-20.7	13.0 <sup>c</sup> ±3.5 8.3-18.1	9.5 <sup>d</sup> ±3.3 4.6-13.3	6.9 <sup>de</sup> ±2.3 4.2-10.3
P (g)	16.3 <sup>a</sup> ±3.6 range <sup>1)</sup> 10.9-21.3 requirement <sup>3)</sup> 23.5	15.8 <sup>a</sup> ±3.2 11.8-20.8	11.0 <sup>b</sup> ±1.7 8.4-13.1	8.7 <sup>c</sup> ±2.4 6.3-12.5	6.8 <sup>cd</sup> ±2.5 3.6-9.6	5.0 <sup>de</sup> ±1.4 3.5-7.3
Mg (g)	1.86 <sup>a</sup> ±0.46 range <sup>1)</sup> 1.21-2.45 requirement <sup>4)</sup> 2.46	1.82 <sup>a</sup> ±0.54 1.36-2.78	1.21 <sup>b</sup> ±0.24 0.81-1.53	0.66 <sup>c</sup> ±0.19 0.46-1.01	0.43 <sup>d</sup> ±0.20 0.17-0.69	0.28 <sup>de</sup> ±0.19 0.09-0.65
Cu (mg)	12.2 <sup>ac</sup> ±4.7 range <sup>1)</sup> 7.2-21.7 requirement <sup>5)</sup> 15.0	12.9 <sup>a</sup> ±5.1 6.8-19.8	6.8 <sup>b</sup> ±2.7 2.6-10.8	7.0 <sup>ab</sup> ±5.2 1.5-17.0	7.3 <sup>ab</sup> ±5.8 1.1-16.0	3.6 <sup>bc</sup> ±3.6 0.9-9.8
Zn (mg)	64.1 <sup>a</sup> ±20.5 range <sup>1)</sup> 40.1-109.2 requirement <sup>6)</sup> 60.1	48.8 <sup>ab</sup> ±16.7 35.7-84.1	36.9 <sup>bd</sup> ±11.8 23.8-58.9	38.0 <sup>b</sup> ±8.1 25.0-48.7	25.8 <sup>c</sup> ±6.4 17.2-32.8	25.9 <sup>cd</sup> ±8.2 17.2-36.1

Values in the upper lines are means ± SD.

<sup>a,b,c,d,e</sup> Means in the same row with different superscripts differ (P<0.05).

<sup>1)</sup> minimum value - maximum value.

<sup>2)</sup> 0.04BW + 32ADG (NRC 1989).

<sup>3)</sup> 0.022BW + 17.8ADG (NRC 1989).

<sup>4)</sup> 0.015BW + 1.25ADG (NRC 1989).

<sup>5)</sup> 10mg of total daily rations (DM) that equal 2.5% of BW (NRC 1989).

<sup>6)</sup> 40mg of total daily rations (DM) that equal 2.5% of BW (NRC 1989).

一方、子馬の乳摂取行動の成績において、授乳回数、積算授乳時間、授乳間隔はいずれも3週齢、7週齢と段階的な低下が認められたことから、子馬の乳への依存度も平行して低下するものと考えられた。楠瀬と澤崎<sup>33)</sup>は子馬の授乳行動について報告しているが、授乳間隔の変化は本研究の成績とほぼ同様であり、それらの成績から子馬の乳に対する栄養的依存度は16週齢を境に減少すると報告している。しかし、ミネラル栄養の観点から考察すると、それよりも早い時期からの栄養補給の必要性が示唆され、子馬の授乳行動の成績は、2-3カ月齢からの栄養補給は子馬にとって無理がないことを裏付ける成績としてとらえることができる。

#### 4 子馬の放牧草由来の銅、亜鉛摂取

北海道日高地方の西部、中部、東部に分布する25の軽種馬生産牧場（図6）の放牧地90カ所から、放牧地牧草

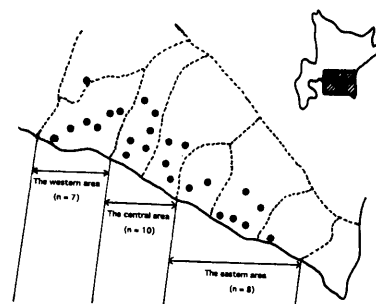


Fig. 6  
The location of 25 breeding farms investigated in the Hidaka district.  
n: Number of farms.



Table 4 Mineral contents of pasture forage and the incidences of epiphysitis on farms in western, central and eastern area

Area	No. of farms	Contents in pasture forage			No. of horses		incidence of epiphysitis (%)
		Ca (g/100g)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	examined	epiphysitis	
western	7						
mean		0.377	7.40 <sup>a</sup>	29.3	69	14	20.3
S.D.		0.077	0.87	7.1			
central	10						
mean		0.350	6.13 <sup>b</sup>	25.8	127	36	28.3
S.D.		0.039	0.83	1.8			
eastern	8						
mean		0.369	7.99 <sup>a</sup>	24.7	82	14	17.1
S.D.		0.074	1.55	2.5			
All	25						
mean		0.363	7.08	26.4	278	64	23.0
S.D.		0.064	1.38	4.6			

<sup>a,b</sup> Means with different superscripts differ (P<0.05).

の生育が旺盛であった初夏（5-7月）に、各放牧地内で選択的に採食されていた地域2-3カ所から牧草サンプルを採取した。採取した草種は、チモシー、ケンタッキーブルーグラス、ホワイトクローバー、パレニアルライグラスなどであったが、チモシーが主体を占めるサンプルが多かった。また、各牧場で同年に生産された子馬278頭（サラブレッド種および少数のアングロアラブ種）を対象とし、生後から明け2歳まで、2-3カ月に1度の間隔で球節部骨端症の発症状況を把握した。

この結果、各牧場の放牧地牧草中のカルシウム、銅、亜鉛の各含有率の平均値はそれぞれ、0.363%、7.08mg/kg、26.4mg/kgであった。これらのうち、銅含有率にのみ地区による差が認められ、中部地区の平均値は他の2地区に比べ有意（P<0.05）に低かった。また、各地区で認めた球節部骨端症発症馬の頭数比は、西部地区20.3%、中部地区28.3%、東部地区17.1%であり、中部地区は他の2地区に比べ高い傾向がみられたが、有意な差ではなかった（表4）。そこで、放牧地牧草中のカルシウム、銅、亜鉛の各含有率が、全平均値を中心としたグループおよびそれよりも高い、あるいは低かったグループに牧場を分類し、それらの球節部骨端症発症馬の頭数比を比較

Table 5 The incidence of epiphysitis in connection with Ca, Cu and Zn contents of pasture forage

Range of mineral contents	No. of farms	No. of horses		Incidence of epiphysitis (%)
		examined	epiphysitis	
Ca (g/100g)				
<0.300	3	33	11	33.3
0.300≤<0.400	17	204	44	21.6
0.400≤	5	41	9	22.0
Cu (mg/kg)				
<6.0	6	70	24	34.3 <sup>a</sup>
6.0≤<8.0	13	163	33	20.2 <sup>b</sup>
8.0≤	6	45	7	15.6 <sup>b</sup>
Zn (mg/kg)				
<25.0	9	87	16	18.4
25.0≤<30.0	14	174	46	26.4
30.0≤	2	17	2	11.8

<sup>a,b</sup> Means with different superscripts differ (P<0.05).

したところ、カルシウム、亜鉛では各グループ間に発症頭数比の有意な差は認められなかったが、銅では有意 ( $P<0.05$ ) な差が認められた (表5)。すなわち、放牧地牧草中銅含有率が6.0mg/kg未満であった牧場 (6牧場) における球節部骨端症発症率は34.3%であり、銅含有率が6.0mg/kg以上8.0mg/kg未満の牧場 (13牧場) での20.2%、8.0mg/kg以上の牧場 (6牧場) での15.6%に比べ、有意 ( $P<0.05$ ) に高かった。

次に、哺乳期子馬の放牧草採食量を以下の方法により推定し、それらから摂取する銅および亜鉛の量について検討した。なお、ウマの放牧草採食量に関する報告はきわめて少なく、とくに哺乳期子馬を対象とした報告はない。

北海道日高地方の生産牧場において3月中旬から6月上旬に出生した軽種子馬6頭 (早生まれの順にA-F: サラブレッド種5頭, アングロアラブ種1頭) を供試し、3日齢から17週齢までの間に合計18回 (1頭あたり2-4回) の24時間連続の全糞採取を行ない、リグニンを内部指標物質とする方法により放牧草採食量を推定した。

子馬の乾物あたりの放牧草採食量は、3週齢までは微量であったが、7週齢ではおよそ0.5-1.7 kg (平均1.03 kg)、10週齢ではおよそ0.5-1.9 kg (平均1.02 kg)、17週齢ではおよそ1.0-3.2 kg (平均1.93 kg) と週齢を経るにしたがい増加する傾向がみられた (表6)。放牧草採食量に及ぼす性差や出生月日の影響は明らかではなかった。また、放牧草採食量を各時期の供試馬の体重あたりの乾物重量でみると、7週齢ではおよそ0.4-1.2% (平均0.80%)、10週齢ではおよそ0.3-1.1% (平均0.65%)、

Table 6 Intakes of pasture forage (DM kg/day) at various weeks of age of foals

Foal (Sex) <sup>1</sup>	Birth day	Weeks of age					
		0.6	1.0-1.1	3	7.0-7.3	9.9-10.6	16.3-17.6
A (F)	17Mar.					1.51 (0.92)	3.23 (1.41)
B (F)	22Mar.				1.14 (1.01)	0.70 (0.51)	1.04 (0.54)
C (M)	1Apr.				1.71 (1.24)	1.90 (1.15)	2.20 (1.00)
D (F)	17Apr.				0.49 (0.36)	0.51 (0.33)	1.21 (0.58)
E (M)	11May		0.02 (0.03)		0.77 (0.59)	0.49 (0.32)	1.98 (1.00)
F (F)	5June	0.00 (0.01)	0.24 (0.32)	0.04 (0.04)			
Mean		0.00 (0.01)	0.13 (0.18)	0.04 (0.04)	1.03 (0.80)	1.02 (0.65)	1.93 (0.91)
					1.21 <sup>2</sup> (0.95) <sup>2</sup>		

<sup>1</sup> F: Female, M: Male

<sup>2</sup> Values are excepted foal D because of suffering from pneumonia.

Values in parentheses are % of body weight.

17週齢ころではおよそ0.5-1.4 % (平均0.91 %)であった (図7)。なお、放牧草採食量には7週齢以降比較的大きな個体差が認められた。放牧草中の銅含有率は採取時期によっておよそ7-10mg/kgの範囲で、亜鉛含有率はおよそ20-30mg/kgの範囲でそれぞれ変動し、採取時期による明らかな傾向は認められなかった。

子馬が放牧草から摂取する銅の量は、3週齢までは微量であったが、個体の放牧草採食量と放牧草中銅含有率の違いにより7週齢では4.0-8.5 mg (平均6.4 mg), 10週齢では3.4-15.7 mg (平均8.6 mg), 17週齢では8.3-22.3 mg (平均15.4 mg)と比較的大きな個体差が認められた (表7)。また、亜鉛摂取量も同様に個体差が大きく、7週齢では10.5-42.6 mg (平均25.3 mg), 10週齢では11.0-46.0 mg (平均25.2 mg), 17週齢では26.4-83.1 mg (平均52.8 mg)であった (表7)。これらの摂取量を要求量に対する百分率で示すと、銅、亜鉛とも採食量が増加する10週齢以降でも20-30%であった (図8)。

以上の試験から、哺乳期の子馬は少なくとも3週齢までの放牧草採食量はわずかであること、その後徐々に増加し子馬によっては7週齢以降では体重の1%以上も採食することが認められた。

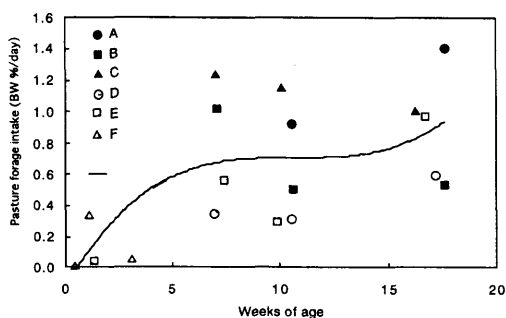


Fig. 7 The intakes of the pasture forage (DM kg/BW %/day) at various weeks of age of foals. (A - F represents a foal)

Table 7 Copper and zinc intakes from pasture forage (mg/day) at various weeks of age of foals

Foal	Weeks of age					
	0.6	1.0-1.1	3	7.0-7.3	9.9-10.6	16.3-17.6
Cu (mg/day)						
A					11.0	22.3
B				7.9	9.0	8.3
C				8.5	15.7	16.0
D				4.0	3.7	9.4
E		0.1		5.3	3.4	20.8
F	0.04	2.0	0.3			
Mean	0.04	1.1	0.3	6.4	8.6	15.4
Zn (mg/day)						
A					46.0	83.1
B				28.5	15.1	26.4
C				42.6	41.0	55.8
D				10.5	11.0	35.7
E		0.6		19.7	12.7	63.1
F	0.1	5.3	1.0			
Mean	0.1	3.0	1.0	25.3	25.2	52.8

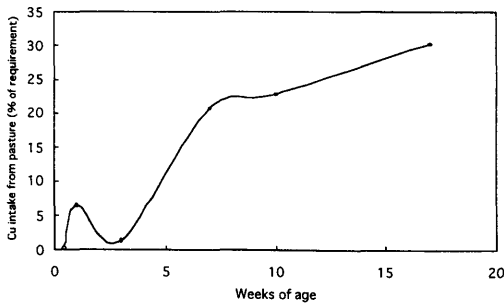


Fig. 8 Cu intake (% of requirement) from the pasture forage at various age of foals.

なお、Usagawaら<sup>34)</sup>は、子馬の食糞行動は10週齢以降ほとんど認められないと報告しており、3週齢までの子馬の糞中に認められたリグニンは、食糞行動に原因する母馬の糞中リグニンに由来するものと考えられた。本研究で供試した子馬のうち7週齢における試験時期がもっとも早かった子馬は3月22日生まれのBであり、7週齢の試験は5月上旬に行われたが放牧地の植生

はすでに良好であった。軽種馬の平均的な出生時期は3-5月であり、北海道日高地方の放牧地の植生が良好となるのは4月中旬から下旬以降である。したがって3-5月に出生した子馬であれば、放牧草の採食が活発になる時期には放牧地の植生も良好となっていることが伺える。しかし、まれに認められる2月生まれの子馬では採食量増加時期と放牧地植生が良好になる時期との間に若干のタイムラグが生じ、十分な放牧草の採食が不可能となることが予測される。山本ら<sup>25)</sup>は、早生まれ(2-3月生まれ)のサラブレッド子馬の1ヵ月齢の体重はそれ以降に生まれた子馬より軽いことを報告しており、上の考察を裏付けるものであると考えられた。

子馬が自由に摂取する放牧草からの銅および亜鉛の供給は要求量の16-30%ではあるが重要な意義をもつ量であると考えられた。放牧草種別の銅および亜鉛含有率は土壌種や施肥の影響を受けるため必ずしも明かではない。また子馬の放牧草種ごとの嗜好性も明らかではなく、哺乳期子馬に最適な放牧草種についての指針はないが、今回の試験において選択的に摂取されていた放牧草は草丈の短いものが多かった。したがって放牧草の草丈を低く維持する掃除刈りは子馬の採食を促す上で有効であると考えられる。

## 5 まとめ

1週齢頃の乳摂取量は平均で1日あたり19kgにも達したが、授乳回数や積算授乳時間の低下とともに乳摂取量も緩やかに低下した。乳摂取量には比較的大きな個体差が認められたが、単位体重あたりの乳摂取量ではバラツキも少なく、乳摂取量と子馬の増体との関係が平行であることが推察される。また週齢の経過とともに単位体重あたりの乳摂取量は一様に減少したことから、子馬の発育にともない乳への栄養的依存度あるいは母馬に対する精神的依存度も減少していくものと考えられた。放牧地における授乳行動の観察においても、1ヵ月齢ころまでは母馬との物理的距離は短い、次第に他の子馬との遊び行動が多くなり、2-3ヵ月齢にもなると母馬の視界から消える距離にあることもしばしば認められている。この時期では、放牧草の採食量も増加し、同時に乳からの銅、亜鉛の摂取量は放牧草から摂取する量よりも少なくなってくる。また、放牧草由来の銅、亜鉛摂取量の増加は乳由来の銅、亜鉛摂取量の低下を上回るため、摂取総量は増加する

ことが認められた (図9, 10)。しかし, 要求量も発育にともない増加するため, 10週齢以降における摂取総量の要求量に対する割合は, 銅, 亜鉛とも約40%程度であった (図11)。

以上のように, 哺乳期の子馬に人為的な栄養補給を行わない場合, 乳および放牧草から摂取する銅および亜鉛の量は要求量を相当下回ることが認められた。しかし, 多くの場合, 血液中濃度に明らかな欠乏値を認めない。これらのことから, 哺乳期の子馬の銅, 亜鉛栄養は胎子時に母馬の胎盤を通して蓄積された銅, 亜鉛に依存する割合は高いと考えられた。

すなわち, 子馬の銅および亜鉛欠乏症発生の要因は, 出生前の蓄積に関与する部分と出生後の摂取に関与する部分に存在することが推察された。

以上の成績から, 子馬に対する銅および亜鉛の補給対策として以下の項目について提言される。

1. 2-3カ月齢頃から要求量の50%程度の銅および亜鉛をクリープフィーディングとして補給することが奨められる。
2. 分娩前の母馬には, カルシウム, リンなどのミネラルに加え十分量の銅, 亜鉛を含有する飼料を給与する必要がある。
3. 銅, 亜鉛含有率を高めた牧草が豊かな放牧地で十分採食させる必要がある。

## 6 謝辞

本発表内容は, 京都大学農学部博士学位論文の一部である。研究の遂行にあたっては, 京都大学農学研究科の矢野秀雄教授, 宮本元教授および佐々木義之教授に終始適切なお指導ならびにご助言を賜った。ここに深く感謝の意を表します。

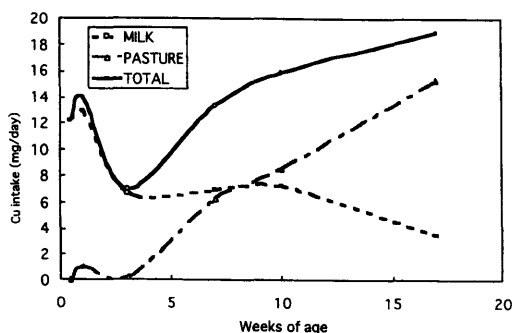


Fig. 9 Cu intake from milk and pasture forage at various ages of foals.

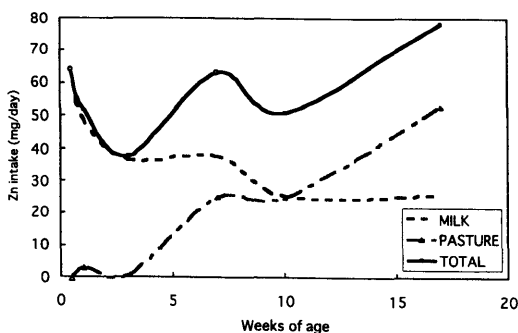


Fig. 10 Zn intake from milk and pasture forage at various ages of foals.

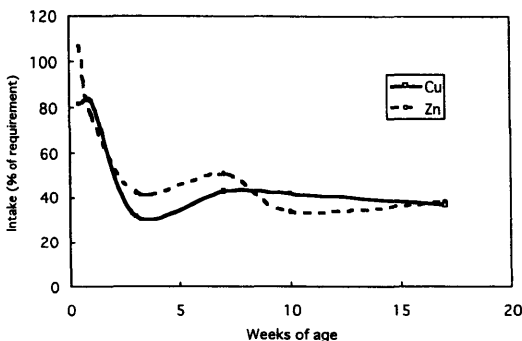


Fig. 11 Cu and Zn intake expressed with percent of requirement at various ages of foals.

## 引用論文

- 1) Egan D.A. and Murrin M.P., 1973. Copper-responsive osteodysgenesis in a thoroughbred foal. *Irish Vet. J.*, 27:61-61.
- 2) Carbery J.T., 1978. Osteodysgenesis in a foal associated with copper deficiency. *New Zealand Vet. J.*, 26:279-280.
- 3) Gabel A. A., 1988. Metabolic bone disease : Problems of terminology. *Eq. Vet. J.*, 20:4-6.
- 4) Sellnow L., 1986. Bones of contention. *Blood Horse*, 39:6996.
- 5) Bridges C.H., Womack J.E., Harris E.D. and Scrutchfield W.L., 1984. Considerations of copper metabolism in osteochondrosis of suckling foals. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 185:173-178.
- 6) McCarter A, Riddell P.E. and Robinson G.A., 1972. Molybdenosis induced in laboratory rabbits. *Can. J. Biochem.*, 40:1415.
- 7) Pitt M., Fraser J. and Thurley D.C., 1980. Molybdenum toxicity in sheep epiphyseolysis, exostoses and biochemical changes. *J. Comp. Pathol.*, 90:567-576.
- 8) Messer N. T., 1981. Tibiotarsal effusion associated with chronic zinc intoxication in three horses. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 178:294-297.
- 9) Gunson D. E., Kowalczyk D. F., Shoop C. R. and Ramberg C. F., 1982. Environmental zinc and cadmium pollution associated with generalized osteochondrosis, osteoporosis, and nephrocalcinosis in horses. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 180:295-299.
- 10) Eamens G. J., Macadam J. F. and Laing E. A., 1984. Skeletal abnormalities in young horses associated with zinc toxicity and hypocuprosis. *Aust. Vet. J.*, 61:205-207.
- 11) Knight D.A., Gabel A.A., Reed S.M., Embertson R.M., Tyznik W.J. and Bramlage L.R., 1985. Correlation of dietary mineral to incidence and severity of metabolic bone disease in Ohio and Kentucky. *Proc. Am. Assoc. Eq. Pract.*, 31:445-461.
- 12) National Research Council, 1978. *Nutrient Requirements of Horses*, Fourth revised edition. National Academy of Sciences. Washington, D.C.
- 13) 益満宏行・上田八尋・吉田光平・長沢良信・藤井良和 1981. 幼駒の成長過程にみられた骨のX線像について. 日本中央競馬会競走馬総合研究所報告, 18:19-27.
- 14) Glade M.J., 1986. The control of cartilage growth in osteochondrosis : A review. *J. Eq. Vet. Sci.*, 6:175-187.
- 15) Olson S. E., 1978. Introduction in osteochondrosis in domestic animals. *Acta. Radiol. Scand. Suppl.*, 358:9-14.
- 16) Jeffcott L. B., 1991. Osteochondrosis in the horse - searching for the key to pathogenesis. *Eq. Vet. J.*, 23:331-338.
- 17) Lewis L. D., 1979. Nutrition for the brood mare and growing horse and its role in epiphysitis. *Proc. Am.*

Assoc. Eq. Pract., 25:269-288.

- 18) Knight D.A., Weisbrode S.E., Schmall L.M., Reed S.M., Gabel A.A., Bramlage L.R. and Tyznik W.I., 1990. The effects of copper supplementation on the prevalence of cartilage lesions in foals. *Eq. Vet. J.*, 22:426-432.
- 19) Smith B. P., Fisher G. L., Poulos P. W. and Irwin M. R., 1975. Abnormal bone development and lameness associated with secondary copper deficiency in young cattle. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 166:682-688.
- 20) Siegel R. C., Pinnell S. R. and Martin G. R., 1970. Cross-linking of collagen and elastin. Properties of lysyl oxidase. *Biochem.*, 9:4486-4492.
- 21) Bridges C.H. and Harris E.D., 1988. Experimentally induced cartilaginous fractures (osteochondritis dissecans) in foals fed low-copper diets. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 193:215-221.
- 22) Owen J. M., 1975. Abnormal flexion of the coronopedal joint of "contracted tendons" in unweaned foals. *Eq. Vet. J.*, 7:40-45.
- 23) Schryver H. F., 1978. Bending properties of cortical bone of the horse. *Am. J. Vet. Res.*, 39:25-28.
- 24) Thompson K. N., Jackson S. G. and Rooney J. R., 1988. The effect of above average weight gains on the incidence of radiographic bone aberrations and epiphysitis in growing horses. *Eq. Vet. Sci.*, 8:383-385.
- 25) 山本修・朝井洋・楠瀬良 1993. サラブレッド種子馬の発育に対する性別, 生まれ月, 産次, 母馬の体重および牧場の影響. *日畜会報*, 64:491-498.
- 26) Underwood E. J., 1971. *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*. 3rd Edition. Academic Press. New York.
- 27) Starcher B. C., Hill C. H. and Madaras J. G., 1980. Effect of zinc deficiency on bone collagenase and collagen turnover. *J. Nutr.*, 110:2095-2102.
- 28) National Research Council, 1989. *Nutrient Requirements of Horses*, Fifth revised edition. National Academy of Sciences. Washington, D.C.
- 29) Gabel A. A., Knight D. A., Reed S. M., Pultz J. A., Powers J. D., Bramlage L. R. and Tyznik W. J., 1987. Comparison of incidence and severity of developmental orthopedic disease on 17 farms before and after adjustment of ration. *Proc. Am. Assoc. Eq. Pract.*, 33:163-170.
- 30) Willoughby R. A., McDonald E. and McSherry B. J., 1972. Lead and zinc poisoning and the interaction between Pb and Zn poisoning in the foal. *Can. J. Comp. Med.*, 36:348-352.
- 31) Cogger L. S., Hintz H. F., Schryver H. F. and Lowe J. E., 1987. The effect of high zinc intake on copper metabolism and bone development in growing horses. *Proc. 10th Eq. Nutr. Physiol. Soc. Sympo.*, 173-178.
- 32) Egan D.A. and Murrin M.P., 1973. Copper concentration and distribution in the livers of equine fetuses,

neonates and foals. Res. Vet. Sci., 15:147-148.

33) 楠瀬良・澤崎坦 1984.サラブレッド種子馬の行動発達と母子関係.日畜会報, 55:263-271.

34) Usagawa T., Tagawa M., Asai Y., Osawa T., Matsui A. and Fujikawa H., 1998. Self-Maintenance behaviour of Thoroughbred foals in nursing period. Jpn. J. Livest. management., 34 (2) :43-49.