

# 关于测定饲料内碳水化合物 ——木質素組的新发展

——介紹 И. С. Попов, Н. А. Лукашик 建議的方案——

王和民

在畜牧上所通用的飼料分析方案及其基本分析方法，已經使用將近一百年了。隨着畜牧學及有關科學的發展，暴露出來了這個陳舊方案在各方面的缺點。因而，尋求一種新的完善的飼養分析方案，已經成為家畜飼養學的重要問題之一。

在通用方案中的碳水化合物組，不論在營養物質的進一步分組上，或者在分析方法上，都存在着問題。同時，碳水化合物極為廣泛地分布在各種飼料內，又是家畜所必不可缺的營養物質，因而，合理地測定飼料內碳水化合物組，有助於訂立完善的飼料分析方案。

現在，在我國各個地區正進行着各種飼料的分析，尤其偏重於富含碳水化合物的粗飼料的分析，這篇短文，或可起一些作用。

在通用飼料分析方案中，把碳水化合物進一步分為兩組營養物質，一組叫做“粗纖維素”，一組叫做“無氮浸出物”。飼料所含碳水化合物的數量和品質，即用這兩組物質來評定。粗纖維素的測定，是將飼料樣品經過稀酸、稀鹼、酒精和乙醚等處理，不能水解的剩餘物即被測定為粗纖維素。在這組物質中除了真正的纖維素外，還包括有半纖維素（五碳聚醣和六碳聚醣）、木質素、角質、木栓質、某些礦物質及其他物質。無氮浸出物的測定，並不經過任何處理，而是用計算方法來求得數量的，即： $\text{無氮浸出物} = \text{干物質總量} - (\text{粗灰分} + \text{粗蛋白質} + \text{粗脂肪} + \text{粗纖維素})$ 。在這組中實際包括有糖、澱粉、糊精、五碳聚醣（或半纖維素），木質素以及一些甚至大量的其他物質。這些其他物質在干草內有時竟多到無氮浸出物總量的43.6%（1）。

由上所述，可以看出，按照通用方案來評定飼料內碳水化合物的營養價值，是**有着嚴重缺點的**。例如：

1. 木質素并不是真正的碳水化合物，它的来源与演变也与纖維素不同。木質素本身是极难消化的物質，并且，他的存在还妨碍纖維素及半纖維素的消化。按照通用方案的分析法，木質素却大量的或少量的分別混攪在粗纖維素与无氮浸出物內，显然，这样分析的结果不能合理地反映飼料的本質。

因而，木質素必須单独划为一組，进行单独的测定。这是数十年来建議新飼料分析方案的总趋势。

根据木質素的特殊性，現在，一般把碳水化合物組改称为“碳水化合物——木質素組”，或“碳水化合物——木質素綜合組”。

2. 通用方案的原来意图认为无氮浸出物容易消化，粗纖維素难于消化；然而，在畜牧生产上所最常用的飼料內（如干草、禾本科藁稈，禾本科綠飼料及青貯料）却恰恰相反，粗纖維素却比无氮浸出物較易消化。（1）因之，利用通用方案分析的结果来評定飼料的消化性是值得怀疑的。

3. 无氮浸出物的較量是由計算差額而得到的，这就有可能使测定各組成成分时的誤差，全部集中地表现在这一組。分析任何一組时所产生的誤差，都直接影响到分析結果中无氮浸出物的数量，因而，使誤差扩大。

4. 在粗纖維素內或无氮浸出物內所包含的各种物質，無論按其营养价值，無論按其在动物体内的生理作用，都有着較显著的差异。

由以上所列几个主要缺点，可以肯定，通用飼料分析方案关于碳水化合物的测定是不合理的，不但分析方法应该改进，而且如何对碳水化合物进行划組併类更是亟待解决的問題。

## 二

近数十年来，不少科学家对于碳水化合物組的测定提出建議，如：Н.Я. Демьянов 和 Н.Д. Првнишников (1933年) (2) 按照碳水化合物內各种成分的相似化学性質，分为五个組，并提供了两种系統分析的方案。Williams 和 Olmsted (1935年) (3) 將飼料样品經过胰酶人工消化分为可消化部分和不消化部分，再将不消化部分用硫酸水解，滤液供测定六碳糖和五碳糖，不能滤过的部分即为木質素。Crampton 和 Maynard (1938年) (4) 提出把碳水化合物分为三个組，即木質素組，纖維素組和其他碳水化合物組。他們先用胃蛋白酶消化飼料样品，随后用酸水解，不能滤过的剩余物即为木質素，根据 Kürchner 方法测定纖維素，由差額計算而得出其他碳水化合物組。Heller 和 Wall (1940年) (5) 提議把碳水化合物分

为纖維素組、半纖維素組和木質素組。Bongi 和 Meyer (1943年) (6) 研究了青飼料的成分和消化性, 提出应分为五碳聚醣組, 六碳聚醣組和木質素組。

苏联科学家在这方面进行了巨大的工作, 如 Н.Д.Првнищников, М.П.Кораблева, Е.М.ильвовская (7) 和 Е.А.нетерова (8) 等。1947年 К.В.Маркова (9) 在全苏畜牧科学研究所根据 Н.Д.Првнищников 的方法, 提出改进的建設, 并对大批飼料进行了分析。她提議将飼料的碳水化合物—木物素綜合組分为: 可溶和易水解的碳水化合物組、纖維素組和木質素組。所介紹的分析方法是系統的。先将飼料样品脫脂, 并在 2% HCl 中沸 5 小时 (第一次水解), 进行过滤, 测定滤液中的还原糖, 換算为可溶和易水解的碳水化合物組。在这一組中包括着糖、糊精、澱粉、半纖維素和部分果胶物質。第一次水解时不可滤过的剩余物用 10 倍容积的 72.5% 硫酸在 30°C 恒溫箱內 (或水浴內) 进行第二次水解二小时, 然后过滤, 滤液测定还原糖, 求出纖維素数量。不可滤过的剩余物即为木質素 (減去其中所含的粗蛋白質和粗灰分, 加以校正)。

1952年 У.И.Попов 院士和 Н.А.Лукашик 候补博士在莫斯科季米里亞捷夫农学院发表了他們的論文 (1) 他們指出通用飼料分析方案的缺点是普遍性的, 同时, 也批評了所有建議的錯誤。所有建議“对于复杂的碳水化合物組的分类根据, 都是狹窄的純化学的。” Попов 等这一句話, 正說破了各种建議的本質。他們认为研究新的飼料分析方案, 必須考虑到化学成分, 飼料本性在感 营养上的生理意义以及这些物質在动物有机体内的遭遇, 并且, 首先应该从消化过程出发。И.С.Лопов 和 Н.А.Лукашик 提出了新建議。

### 三

И.С.Попов 和 Н.А.Лукашик 所建議的方案, 是把碳水化合物——木質素組分为: 1 易消化碳水化合物組 (主要是糖和澱粉), 2 木質素組, 3 总纖維素組。按照碳水化合物——木質素組构成植物細胞的部位来講, 可以分为兩类, 一类是包含于細胞的内含物, 一类則构成植物的細胞壁。在第一类的物質中主要是糖和澱粉, 它們的化学性質是极为近似的, 易溶于水、弱酸、弱鹼和麦芽浸剂, 它們在消化过程中都是藉助于酶来完成水解的, 至于它們的生理作用, 也是为人所熟知的。因而, 应该把它們划併于一个組, 即易消化的碳水化合物組 (糖和澱粉)。

在构成植物細胞壁的成分中, 把木質素单独划为一組, 理由如前所述。其余的物質則完全归併于另一个組, 并定名为总纖維素。获得总纖維素的方法, 是从样品

中用亞氯酸鈉 ( $\text{NaClO}_2$ ) 在冰醋酸环境中排除出去木質素。

在总纖維素中主要包含有纖維素、半纖維素和果胶物質。建議者认为不应该对这一組再进行进一步的划分。因为, 按照这些物質的化学性質, 可溶性以及在植物生长发育中的演变, 都是极为近似的。如果单独测定纖維素或半纖維素, 常常因溶剂的浓度, 处理的时间长短以及它們在細胞膜中所处的位置而致結果有明显差异, 而且它們的数量也根据植物发育阶段而变化; 除此而外, 它們在消化过程中仅只有在微生物的作用下才能形成相类似的发酵产物(低級有机酸)。它們的消化率也很近似。如線羊消化三叶草——貓尾草干草中的纖維素是60.3%, 消化五碳聚糖是66.1%。因而, 应併为一組。

И.С.Попов 和 Н.А.Лукашк 为了証明所获得的总纖維素的純度, 藉助于显微镜方法进行了进一步的考察。总纖維素标本用間苯三酚染色时是否定的(間苯三酚是木質素的染色剂), 而用碘同氯化鋅的水溶液染色时則被連續不断地染上顏色(碘同氯化鋅水溶液是纖維素的反应剂)。同时, 也看到細胞的内含物没有了, 但薄膜組織完整无損, 粗胞壁未遭到破坏。这也証明了木質素不是和纖維素化合在一起的, 而是以微胶粒嵌于纖維素間隙的。

当进行化学研究时, 在总纖維素內发现有含氮物質和矿物质, “純”总纖維素在三叶草——貓尾草干草內占“粗”总纖維素的87.3%, 在粪的样品中占87.4—88.2%。

在三叶草——貓尾草干草內, 一克总纖維素的热能, 经过校正后等于4.56大卡。

总纖維素內含碳45.5%, 而在通用方案的粗纖維數內含碳43.2%

在进行消化試驗时所得到的总纖維素消化率也很稳定, 如: 一头線羊对三叶草——貓尾草干草內总纖維素的消化率是64.2%, 另一头是66.6%。

从而, 根据化学分析, 根据消化試驗, 根据显微镜方法的研究, 把总纖維素当作一个复杂的碳水化合物綜合組是有充分根据的, 它不仅能从飼料內按分析方法分析出来, 而且也能在消化后产物中分析出来。

此外, 按照Попов 和 Лукашк 所建議的方案进行分析碳水化合物——木質素組, 几乎所有物質都遭到了分析, 而所謂“其他物質”仅占1.66%。但在他們試驗中另外所拟的几个方案中, 这些“其他物質”竟占到12—42%。

可由表一和表二見得分析与消化試驗的結果。

表一 在三叶草——貓尾草干草內碳水化合物——木質素組的消化率  
(試驗动物——綿羊)

綿羊号数	粗纖維素	无氮浸出物	纖維素	五碳聚糖	木質素	溶于2% Hcl 的物質	糖+澱粉	总纖維素
1	52.2	74.72	60.5	66.3	8.3	78.9	86.1	66.6
2	58.4	73.00	60.2	66.4	7.9	76.1	82.0	64.2

表二 在三叶草——貓尾草內碳水化合物——木質素組的各种成分  
(%相对干燥物質)

分析方案	粗纖維素	无氮浸出物	*纖維素	五碳聚糖	**木質素	溶于2% Hcl的物質	糖+澱粉	总纖維素	其他物質
通用方案	26.7	46.94	—	—	—	—	—	—	—
案 案 1	—	—	22.7	—	8.97	—	—	—	41.83
方 案 2	—	—	22.7	15.35	8.97	—	—	—	26.63
方 案 3	—	—	22.7	—	8.97	29.75	—	—	12.33
方 案 4	—	—	22.7	15.35	8.97	—	11.11	—	15.52
所建議的方案	—	—	—	—	8.97	—	11.11	51.91	1.68

\*纖維素——是用含氮物質、礦物質及五碳聚糖校正后的数字

\*\*木質素——是用含氮物質和礦物質校正后的数字

作者就通用方案、ВИЖ方案（即全苏畜牧科学研究所К.В.Маркова方案）和И.С.Попов Н.А.Лукашик方案进行了比較,分析的飼料是三葉草——貓尾草、牛尾草混合乾草。分析結果如表三:

表三 在三叶草——貓尾草——牛尾草混合干草內碳水化合物——木質素組的成份  
(%相对干燥物質)

分析方案	粗纖維素	无氮浸出物	纖維素	可溶碳水 化合物	木質素	糖+澱粉	总纖維素
通用方案	36.35	44.43	—	—	—	—	—
ВИЖ方案	—	—	28.32	24.18	20.99	—	—
ПоповЛукашик	—	—	—	—	11.50	13.17	61.11

由表三可以看出,木質素的数量在ВИЖ方案与Попов和Лукашик方案之間的差异是显著的,这主要是由于分析方法的的不同,在К.В.Маркова的分析結果中,木質素的数量也偏高(9)。再者,进行ВИЖ方案分析时未进行脫脂,也影响了木質素数值。另外也見到了另一种情况,即按Попов和Лукашик方案所获得各組数量之和,可能稍大于按通用方案所得到的数值。这可能由分析进程中的誤差所引

起。

И.С.Попов 院士和 Н.А.Лукашик 候补博士的建议方案,应该被认为是一种较完善的方案。最大特点是对这一复杂的碳水化合物——木质素组给予了合理的划组归类。因为测定各个不同化学成分,十分繁琐,复杂,为了便于指导畜牧生产实践,不可能对每一物质都进行各别测定,而且也没有这种必要,这是一般科学家所同意的了。但是,如何划组归类,才更能符合于饲料本性与消化过程,才更能指导畜牧生产实践,乃是问题的焦点。从以上所介绍的材料,可以说,Попов 和 Лукашик 的建议,较圆满地解决了三个问题。因为,第一,建议是按着各种物质的相似消化过程和消化性来分组的。这就突出了饲料分析方案的目的——为畜牧生产服务。第二,符合于饲料本性。第三,同组物质的化学性质极为近似,同时生理作用也无甚大差别,使其易于分析,便于实用。

然而,建议者所提供的分析、研究材料,为数尚少。虽然,在理论上推论它是适于各种饲料的,但,更多的分析资料或消化试验的结果还是必要的。再者,所测定的总纤维素内含有少量含氮物质和矿物质,而含氮物质和矿物质在分析方案中是有专组来测定的,因而,如能加以校正,象校正木质素一样,将更为合理。

目前,在苏联还没有肯定以那个建议方案为标准,正处于讨论中。作者介绍这些建议的目的是希望国内各地专家就分析饲料之便,对于碳水化合物——木质素组予以相当注意,这对于我国畜牧业的发展,尤其是对于粗饲料的合理评定营养价值和合理使用,是有益处的。

关于 ВИЖ 方案的具体分析方法,已载于全苏畜牧研究所出版的“畜牧分析法”(17)。在此不作赘述。关于 Попов 和 Лукашик 方案的具体分析方法,没有出版的介绍材料,作者就在季米里亚捷夫农学院家畜饲养教研组进修之便,得到了该方案的分析方法,现加以整理,附录于后。并借此文向 И.С.Попов 的指导 and Н.А.Лукашик 的热情帮助表示感谢。

#### 附录一、И.С.Попов 和 Н.А.Лукашик 方案的分析法:

根据这个方案,把碳水化合物木质素组分为三组进行分析。其中易消化碳水化合物组主要是糖和淀粉,和一般所用的分析方法相同,不再介绍,兹将其对总纤维素组和木质素组的分析方法介绍如下:

##### 一 总纤维素分析法

在冰醋酸环境下,加亚氯酸钠 ( $\text{NaClO}_2$ ),使木质素成为可溶解状态,得到白

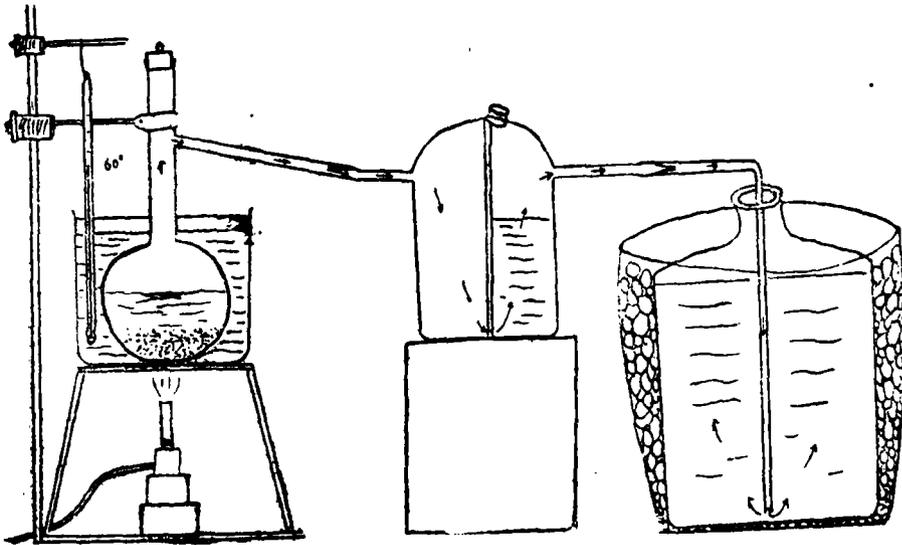
色纤维状的物质,经过过滤,洗涤,即总纤维素,但亚氯酸钠没有出售的成品,因此,必须先要在实验室内制取 $\text{ClO}_2$ ,从而获得亚氯酸钠,以使用以分析总纤维素,方法如下:

### 1. 获得 $\text{ClO}_2$ 的方法 (10) (2)

在容积1.5公升的圆底烧瓶内(瓶颈有导出管)放入240克氯酸钾( $\text{KClO}_3$ )和200克草酸( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ),并在400毫升蒸馏水内注入比重1.84的浓硫酸120毫升,也倒入同一圆底烧瓶。

按图装置仪器:将烧瓶置于水浴内,并加以固定,烧瓶的导出管连接洗涤瓶并由洗涤瓶的导出管连接弯玻璃管,使加热后所形成的 $\text{ClO}_2$ 经过玻璃管至收集瓶内。收集瓶内注入4—5公升蒸馏水以吸收 $\text{ClO}_2$ 。收集瓶应为褐色,以避免直射光线。收集瓶周围应用水或雪以冷却溶液,不使 $\text{ClO}_2$ 逸出。所有联接处应使用玻璃,因 $\text{ClO}_2$ 对有机质腐蚀作用,并可能发生爆炸。因而不得使用橡皮塞等。玻璃管的联接处外部可用橡皮管箍紧,但注意不要使橡皮管接触到 $\text{ClO}_2$ 气体。

$\text{ClO}_2$ 有毒,所以应在毒气橱内进行工作。同时,要避免在直射光线下进行处理。



装置完备后,加热。温度计吊在水浴内,水银球不要接触水浴底或壁,以得到真正的水的温度。开始加热时允许到 $65^\circ\text{C}$ ,但以后就保持在 $60^\circ\text{C}$ 。不久,即可看到逸出的黄色气体经过洗涤瓶注入收集瓶的水内。加热过程要延续5个小时或更

长。

工作人员除查看温度或往水浴内添水外，不要打开毒气橱的玻璃窗，以免中毒。有人建议最好带上防毒面具工作。

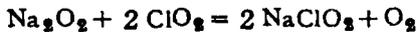
加热延续5小时，即可告结束，收集瓶的水内约含有2%ClO<sub>2</sub>。

其反应式如下：

$2\text{KClO}_3 + (\text{COOH})_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{ClO}_2 + 2\text{CO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$  获得ClO<sub>2</sub>水溶液后，拆卸装置，将烧瓶及洗滌瓶的导出管冲向毒气橱的孔洞，以抽出残存于其内的ClO<sub>2</sub>。

### 2. 获得NaClO<sub>2</sub>的方法 (11)

在毒气橱内用磁匙将Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub>（过氧化钠）粉末少量地洒入ClO<sub>2</sub>水溶液内，一直洒到液体呈现中性反应，不再放出氧为止。进行这个手续时，要防止吸入ClO<sub>2</sub>气体。反应式如下：



然后将一部分NaClO<sub>2</sub>液体倒入蒸发皿内，置于水浴上加温。NaClO<sub>2</sub>液体的温度不得超过85°C。一直加蒸发到得到NaClO<sub>2</sub>的结晶。将结晶取至玻璃漏斗内，用水唧筒抽去多余的水分，便得到干燥的NaClO<sub>2</sub>。

其余的NaClO<sub>2</sub>液体也用同样的方法以获得干燥的NaClO<sub>2</sub>。

所获得的NaClO<sub>2</sub>结晶，要保存在褐色的玻璃瓶内，以备使用。

### 3. 测定总纤维素 (12)

将2—3克磨碎的样品(风乾状态)在脂肪抽出器内用乙醚脱脂12小时，然后将脱脂的样品放入容积250毫升的锥形瓶内，倒入150毫升蒸馏水，加入1.5克亚氯酸钠(NaClO<sub>2</sub>)，并用移液管滴上0.6毫升冰醋酸，把锥形瓶放在水浴内加热，水浴温度保持在75—80°C，历时一小时。为保持液体的一定浓度，加热时要在锥形瓶口上盖以漏斗，使蒸发的水分仍沿漏斗管滴入锥形瓶内。或者使用空气冷凝管。加热一小时后，再滴入0.6毫升冰醋酸，加入1.5克亚氯酸钠，仍在75—80°C下加热一小时。如此进行4—6次(最好是6次)，就可以看见在瓶底沉澱有白色纤维状物质，即总纤维素。

然后，将此锥形瓶放置于桶内，用冰或雪包围起来，加以冷却，(或放在冰箱内)。取已知干燥重量的滤纸，折叠后，紧紧附于漏斗上，下接容器。将冷却的含有总纤维素的溶液过滤，并用冰冷的蒸馏水冲洗，一直洗到滤液为清明的液体。然

后再用丙酮冲洗三次，洗至滤溶无色。

待留在滤紙上的总纖維素乾燥后，連同滤紙一齐放入原来称量滤紙乾重用的秤瓶內，在烘箱100—105°C下乾燥，直至恆重。所秤量得的数值減去滤紙乾重，用原样品重量除之，并乘以100所得到风乾状态下总纖維素的百分数。或換算成絕對乾燥下的百分数。

## (二) 木質素分析法 (12)

将1克左右脫脂后的磨碎样品(风乾状态)，放入錐形瓶內，加上15毫升72%的硫酸，使其很好地浸漬全部样品，錐形瓶用橡皮塞塞紧，在水浴溫度24—25°C下加热2.5小时。在加热过程中要定期搖晃瓶內内容物，避免形成团块。

然后，向該錐形瓶內注入200毫升蒸餾水，用带有空气冷凝管的橡皮塞，盖紧錐形瓶，使蒸发的水汽遇冷凝縮成水，再沿玻璃管流入瓶內，以避免水分的过度蒸发，保持溶液一定浓度。将裝置好的錐形瓶煮沸一小时。

用已知經重的无灰分滤紙过滤，并用热蒸餾水冲洗，一直洗到滤液中再无硫酸。可用氯化鋇溶液試滤液是否混浊。不可滤过的褐色物即木質素。連同滤紙在100—105°C下乾燥至恆重，減去滤紙重量即木質素重量。

但，所得到的木質素係粗木質素。为此，要将粗木質素分为兩份，一份供测定粗灰分重量，一份供测定粗蛋白質重量(或者用一个样品的粗木質素测定粗灰分，用另一平行样品的粗木質素测定粗蛋白質)。粗木質素重量減去粗灰分重量和粗蛋白質重量即得到純木質素重量。

求得风乾状态下的木質素百分数。或者換算为絕對乾燥状态下的木質素百分数。

## 附录2 文 献

- (1) И. С. Попов Н. А. Лукашич  
К Пересмотру методов зоотехнического анализа кормов  
Московская ордена Ленина сельскохозяйственная академия им.  
К. А. Тимирязева: Рефераты Докладов выпуск XVIII 1954г.
- (2) Н. Я. Демьянов Н. Д. Прянишников  
Общие приемы анализа растительных веществ  
1933г.
- (3) R. D. Williams W. H. Olmsted  
Journal Biol. chem. 108. 1—3. 1935
- (4) E. W. Crampton L. A. Maynard  
Journal of Nutrition 19. 2. 1940.
- (5) V. G. Heller R. Wall  
Journal of Nutrition 19. 2. 1940.
- (6) A. H. Bongi H. Meyer  
Journal of Agricultural Science 23. 123. 1943
- (7) Н. Д. Прянишников М. П. Кораблева Е. М. Ильвовская  
Успехи зоотехнических наук Т. 1. В. 1. 1935г.
- (8) Е. А. Нетерова  
Доклады ВАСХНИЛ
- (9) К. В. Маркова  
О методике определения В кормах углеводно-лигнинного комплекса Труды всесоюзного научно-исследовательского института животноводства Том. 15. 1947г.
- (10) Курт Гесс  
Химия целлюлозы и её Спутников  
1934г. (由德文译来)
- (11) 莫斯科季米里亞捷夫农学院有机化学教研组候补博士 И. А. Кобышев 手稿

(12) 莫斯科季米里亞捷夫农学院家畜饲养教研組实验室主任 Н. А. Пучашик 手稿

(13) Солнцев

Зоотехнический анализ

(14) И. С. Попов

Кормление сельскохозяйственных животных 1957г.

(15) А. И. Ермаков, В. В. Арасимович и другие

Методы Биохимического исследования растений 1952г.

(16) А. П. Дмитроченко

Кормление сельскохозяйственных животных 1957г.

(17) П. Х. Поладопуло, К. В. Маркова А. П. Горбачева

Методика зоотехнического анализа

1956г. Москва

[註] 文献(2) — (8) 見(9) К. В. Маркова 引文

于1958年 季米里亞捷夫农学院