

М. А. ТЕР-КАРАПЕТЯН, М. Н. МАЛАТЯН

## КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИКИ ВЫДЕЛЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ПРИ СИЛОСОВАНИИ И СУШКЕ ЗЕЛЕННЫХ РАСТЕНИЙ

В процессе силосования происходит выделение значительных количеств углекислого газа, основными источниками которого являются анаэробное дыхание растительных тканей, а также расщепление углеводов под влиянием микроорганизмов и ферментов.

В процессе сушки трав основным источником углекислого газа является аэробное дыхание растительных тканей, сопровождающееся расщеплением растворимых углеводов [1, 2, 3].

Определение как динамики образования, так и общего количества выделенного углекислого газа представляет определенный интерес для изучения как механизма бродильных процессов силосования, так и ферментативных реакций, происходящих при сушке. Кроме этого, в случае силосования динамика выделения углекислого газа позволяет объяснить механизм действия различных факторов, стимулирующих (мяласса, сыворотка) или тормозящих (кислоты,  $SO_2$  и т. п. препараты) ход микробиологических и ферментативных процессов. Особенно важно определение углекислого газа в деле установления суммарных уравнений превращения сухих веществ, в частности углеводов, при брожении силоса и сушке трав, что позволяет оценить технологическую эффективность различных методов силосования и сушки.

До настоящего времени недостаточное внимание уделяется изучению выделения углекислого газа при силосовании и сушке. Применяемые с этой целью химические методы не позволяют определить углекислый газ в коротких промежутках времени с достаточной точностью, в частности, в начале и конце созревания силоса, когда газ выделяется в небольших количествах.

Настоящая работа ставит целью применение кондуктометрического метода определения углекислого газа для сравнения, во-первых, динамики бродильных процессов при трех разных методах силосования—обычный способ, силосование с применением кислых препаратов и сернистого ангидрида и, во-вторых, динамики выделения углекислого газа при силосовании и сушке.

Закладка силоса, поглощение и определение углекислого газа проводятся в специально сконструированной аппаратуре.

Банка для закладки (рис. 1а, б) представляет собой литровый сосуд со шлифованным горлом. Стеклоянная пробка банок представляет

собой закрытый цилиндр с пустым корпусом. Во внутрь корпуса через стеклянный клапан, поставленный в днище цилиндра, поступает углекислый газ, а также сок, поднимающийся из силосуемой массы. Клапан не препятствует выходу газов и жидкостей из банки и герметично закрывается при давлении в обратном направлении.

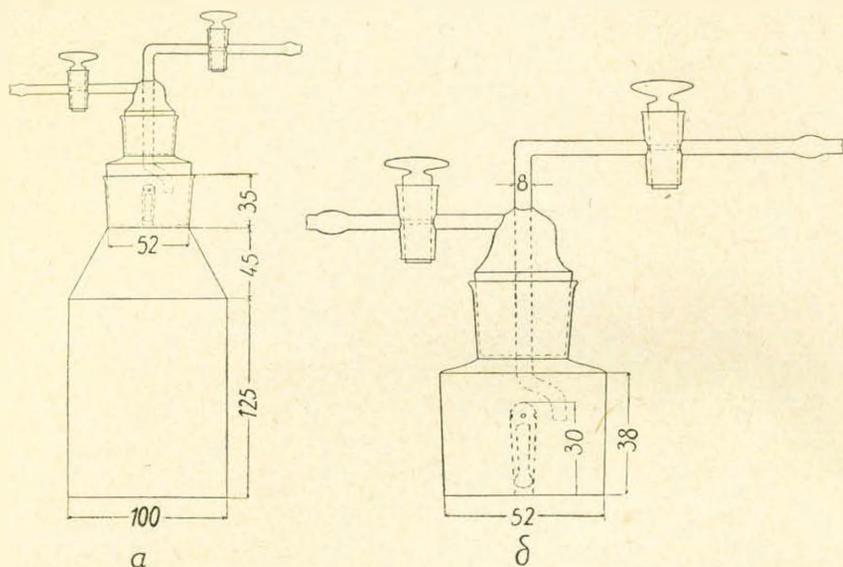


Рис. 1а, б.

Из внутреннего пространства пробки углекислый газ удаляется струей воздуха или азота, предварительно очищенного от примесей того же газа и направляется в поглотительную систему.

Сушка проводится в эксикаторе, поставленном в термостат при  $20^{\circ}\text{C}$ , через который проходит ток очищенного от углекислого газа воздуха. Выходящий из эксикатора воздух, содержащий углекислый газ, выделенный растительным материалом, направляется также в поглотительную систему.

Поглощение и определение углекислого газа проводится в ячейке по методу, описанному Брунсом, Брауде и Циклисом [7], при этом в качестве поглотителя применяется раствор  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ . Ячейка изготовлена из молибденового стекла, имеет рамообразную форму, с одной стороны изогнута в виде спирали. На стороне, противоположной спирали, на ячейке устроена утолщенная часть, в которой установлены платиновые электроды для измерения электропроводности. Вся ячейка погружена в термостат при температуре  $25^{\circ}\text{C}$ .

Благодаря барботирующему в нижней части углекислому газу, в ячейке создается постоянная циркуляция раствора  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ , обеспечивающая одновременно полное поглощение  $\text{CO}_2$  и равномерное распределение осадка в жидкости.

Принцип определения углекислого газа основан на понижении электропроводности раствора  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ , который стехиометрически соответствует количеству поглощенного газа.

Электропроводность периодически измеряется посредством схемы равновесного моста переменного тока, состоящего: из двух платиновых электродов, лампового генератора переменного тока частотой 1000 ГЦ, трехлампового усилителя, магазина сопротивлений, реохорда и оптического индикатора баланса моста (лампа 6Е5).

В качестве объекта исследования в опытах по силосованию использовались початки кукурузы в фазе молочной спелости. Сырье измельчалось на куски длиной 1–2 см и плотно закладывалось в опытные сосуды.

Силосование проводилось в трех вариантах. Первый—обычным способом (контроль), при котором к массе добавлялась вода в объеме, равном таковому применяемых реагентов; второй—с применением препарата ААЗ (раствор

$\text{HCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4$ ) в количестве 1,75 г  $\text{HCl}$  и 0,3 г  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на каждый кг зеленой массы; третий—с применением 6% раствора сернистого ангидрида из расчета по 2 г  $\text{SO}_2$  на каждый кг зеленой массы.

Опытные банки ставились в термостат при температуре 21°C в течение всего периода созревания, который длился от 18 до 25 дней. Определение углекислого газа проводилось несколько раз в сутки. В конце опыта силос подвергался подробному химическому исследованию для оценки превращения углеводов и азотистых соединений массы, а также образования разных видов органических кислот [4].

В качестве объекта исследования в опытах по сушке использовалась зеленая ботва свеклы после отделения ее от корневой части растения.

### Динамика выделения углекислого газа при разных способах силосования

В табл. 1 и 2 и на рис. 2 и 3 приведены данные о динамике образования углекислого газа у двух групп силоса: первая, состоящая из обычного и сульфитного силоса, вторая—из обычного и кислого силоса.

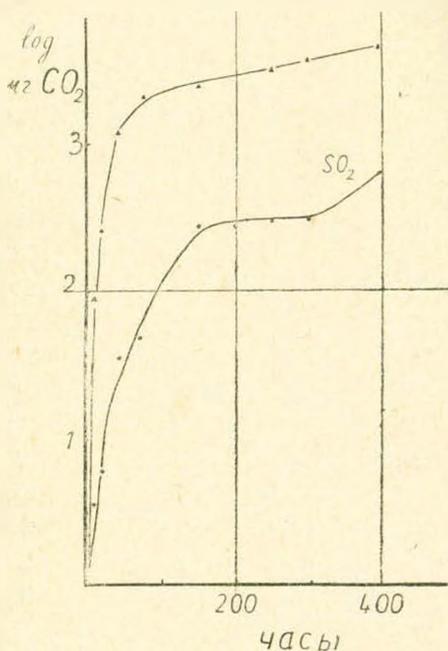


Рис. 2.

Таблица 1

| Продолжительность<br>в часах    | Силос об.—313 г (в абс. сух. вещ.) |                          | Силос с SO <sub>2</sub> —346 г (в абс. сух. вещ.) |                          |
|---------------------------------|------------------------------------|--------------------------|---|--------------------------|
|                                 | CO <sub>2</sub><br>по интервалам   | CO <sub>2</sub><br>общий | CO <sub>2</sub><br>по интервалам                  | CO <sub>2</sub><br>общий |
| 0                               | —                                  | —                        | —   | —                        |
| 5                               | 88,9                               | 88,9                     | 3,63  | 3,63                     |
| 15 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>  | 180,0                              | 268,9                    | 2,42  | 6,05                     |
| 27                              | 269,1                              | 538,0                    | —   | —                        |
| 39 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>  | 698,0                              | 1236,0                   | 28,38   | 34,43                    |
| 53 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>  | 437,0                              | 1673,0                   | 8,14  | 42,57                    |
| 62 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>  | 239,5                              | 1912,5                   | 2,20  | 44,77                    |
| 75,0                            | 197,0                              | 2109,5                   | 2,75  | 47,52                    |
| 87,0                            | 101,6                              | 2211,1                   | 143,70  | 191,22                   |
| 123,0                           | 141,0                              | 2322,1                   | 57,43   | 248,65                   |
| 136 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> | 79,2                               | 2401,3                   | 23,35   | 272,00                   |
| 151 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> | 97,2                               | 2498,5                   | 1,40  | 273,40                   |
| 170                             | 161,0                              | 2659,6                   | 1,68  | 275,08                   |
| 188 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> | 129,3                              | 2788,9                   | 2,75  | 277,83                   |
| 207,0                           | 67,0                               | 2855,9                   | 4,95  | 282,78                   |
| 220                             | 161,0                              | 3016,9                   | 3,52  | 286,30                   |
| 243                             | 160,0                              | 3176,9                   | 8,25  | 294,55                   |
| 259                             | 225,4                              | 3402,3                   | 73,30   | 297,85                   |
| 286 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> | 175,7                              | 3578,0                   | 4,73  | 302,58                   |
| 303,0                           | 219,1                              | 3797,1                   | 3,08  | 305,66                   |
| 328,0                           | 315,7                              | 4112,8                   | 15,62   | 321,28                   |
| 342,0                           | 244,1                              | 4356,9                   | 21,78   | 343,06                   |
| 400,0                           | 132,4                              | 4489,3                   | 74,80   | 417,86                   |
| 421,0                           | 234,9                              | 4724,2                   | 62,40   | 480,26                   |

Вышеприведенные результаты с большой точностью показывают ход броидильных процессов при силосовании разными технологическими способами.

В применяемых нами условиях кондуктометрический метод настолько чувствителен, что он позволяет при закладке зеленой массы меньше 1 кг определить количество углекислого газа, не превышающее в течение суток 3—6 мг.

Таким образом, как по масштабу опытов, так и по точности наблюдения кондуктометрический метод является значительным усовершенствованием по сравнению с химическими методами определения углекислого газа при силосовании [5].

Полученные кондуктометрическим методом результаты обнаруживают глубокие расхождения в динамике выделения углекислого газа

Таблица 2

| Продолжительность в часах | Силос об.—310,2г (в абс. сух. вещ.) |                       | Силос с SO <sub>2</sub> —305,5 г (в абс. сух. вещ.) |                       |
|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------|---|-----------------------|
|                           | CO <sub>2</sub> по интервалам       | CO <sub>2</sub> общий | CO <sub>2</sub> по интервалам                       | CO <sub>2</sub> общий |
| 0                         | —                                   | —                     | —   | —                     |
| 24                        | 882,5                               | 882,5                 | 10,45   | 10,45                 |
| 48                        | 1339,9                              | 2222,4                | 535,1   | 545,5                 |
| 72                        | 1272,4                              | 3494,8                | 791,3   | 1336,8                |
| 96                        | 666,0                               | 4160,8                | 414,8   | 1751,6                |
| 120                       | 850,7                               | 5011,5                | 589,5   | 2341,1                |
| 144                       | 816,0                               | 5827,5                | 383,5   | 2724,6                |
| 168                       | 682,8                               | 6510,3                | 746,5   | 3471,1                |
| 192                       | 646,8                               | 7157,1                | 596,2   | 3967,3                |
| 216                       | 347,5                               | 7504,6                | 679,6   | 4646,9                |
| 240                       | 319,7                               | 7824,3                | 566,3   | 5213,2                |
| 264                       | 246,6                               | 8070,9                | 512,4   | 5725,6                |
| 288                       | 186,4                               | 8257,3                | 532,8   | 6258,4                |
| 312                       | 173,7                               | 8431,0                | 382,9   | 6641,3                |
| 336                       | 183,1                               | 8614,1                | 445,3   | 7086,6                |
| 360                       | 197,2                               | 8811,3                | 262,9   | 7349,5                |
| 384                       | 164,1                               | 8975,4                | 218,4   | 7567,9                |
| 408                       | 164,3                               | 9139,7                | 360,0   | 7927,9                |
| 432                       | 123,7                               | 9263,4                | 248,0   | 8175,9                |
| 456                       | 101,6                               | 9365,0                | 340,9   | 8516,8                |
| 480                       | 141,7                               | 9506,7                | 159,8   | 8676,6                |
| 504                       | 169,1                               | 9675,8                | 283,1   | 8959,7                |
| 528                       | 99,0                                | 9774,8                | 145,8   | 9105,5                |
| 552                       | 255,4                               | 10030,2               | 209,3   | 9314,8                |
| 576                       | 95,8                                | 10126,0               | 145,8   | 9460,6                |
| 600                       | 100,9                               | 10226,9               | 117,2   | 9577,8                |
| 624                       | 115,9                               | 10342,8               | 155,3   | 9733,1                |

и, следовательно, в ходе бродильных процессов между способами обычного, кислого и сульфитного силосования.

Как известно, выделение углекислого газа, обусловливаемое дыханием растительных тканей и бродильными процессами, при обычном силосовании наступает непосредственно после закладки с большой интенсивностью. При силосовании с помощью кислых препаратов замечается определенное замедление в динамике выделения углекислого газа от обычного силоса на 60—70% до 6 дня закладки.

При силосовании с помощью сернистого ангидрида происходит сильное торможение (свыше 95% от обычного силоса) выделения углекислого газа в первые 6 дней закладки, создающее удлиненный латентный период брожения продолжительностью 70—80 ч.

Торможение выделения углекислого газа при кислотном и сульфитном силосовании сопровождается, как показали предыдущие работы

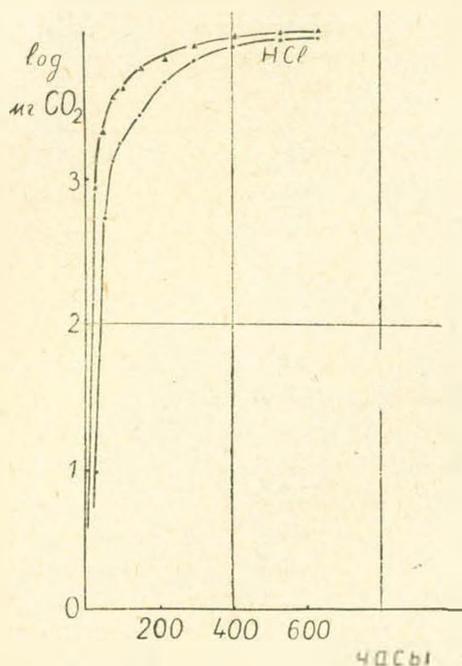


Рис. 3.

нашей лаборатории [6, 4], подавлением бродильных процессов, образующих в основном уксусную и в меньшей степени молочную кислоту.

Кондуктометрическим методом обнаружены также глубокие расхождения в ходе основного периода брожения у разных видов силоса.

При сульфитном силосовании бродильные процессы протекают весьма медленно на протяжении всего опытного периода, и общее количество выделенного углекислого газа к 18 дню не превышает 10% обычного силосования. При силосовании с кислотными препаратами выделение углекислого газа в первые 7—8 дней закладки не превышает 30% обычного силоса, но в дальнейшем в кислотном силосе ход бродильных процессов постепенно ускоряется до такой степени, что к 26 дню общее количество  $\text{CO}_2$  в

обоих типах силоса уравнивается.

Расхождения в динамике и в общем количестве углекислого газа являются отражением особенностей бродильных процессов при трех различных типах силосования, которые изучены также химическими методами исследования [6, 4].

### Динамика выделения углекислого газа при силосовании и сушке

Сравнение динамики выделения углекислого газа при силосовании и сушке произведено с ботвой сахарной свеклы.

Опыт проведен в течение 13 дней.

Полученные данные показывают, что брожение в силосе из ботвы свеклы наступает после 2—3-дневного латентного периода и в этом отношении значительно отличается от динамики брожения силоса из початков кукурузы.

Во время аэробного дыхания, которое происходит при сушке ботвы свеклы, наблюдается интенсивное выделение углекислого газа. Количество последнего превышает таковое, выделенное при силосовании в одинаковых температурных условиях.

Таблица 3

| Продолжительность в днях | Силосование             |                       | Сушка                   |                       | CO <sub>2</sub> с 100 г сух. вещ. на 1 ч. |       |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|---|-------|
|                          | CO <sub>2</sub> в сутки | CO <sub>2</sub> общий | CO <sub>2</sub> в сутки | CO <sub>2</sub> общий | Силос                                     | Сушка |
| 1                        | следы                   | —                     | 69,1                    | 69,1                  |   |       |
| 2                        | следы                   | —                     | 287,1                   | 356,2                 |   | 79    |
| 3                        | 28,5                    | 28,5                  | 313,7                   | 669,9                 | 0,7                                       | 87    |
| 4                        | 170,9                   | 199,4                 | 155,3                   | 825,2                 | 4,4                                       | 43    |
| 5                        | 391,4                   | 590,8                 | 285,9                   | 1111,1                | 10,0                                      | 79    |
| 6                        | 405,5                   | 996,3                 | 314,3                   | 1425,4                | 10,4                                      | 87    |
| 7                        | 410,2                   | 1406,5                | 336,6                   | 1762,0                | 10,5                                      | 93    |
| 8                        | 519,8                   | 1926,3                | 440,4                   | 2202,4                | 13,3                                      | 122   |
| 9                        | 165,6                   | 2091,9                | 318,4                   | 2520,8                | 4,3                                       | 88    |
| 10                       | 114,3                   | 2206,2                | 461,6                   | 2982,4                | 2,9                                       | 128   |
| 11                       | 173,4                   | 2379,6                | 168,0                   | 3150,4                | 4,7                                       | 46    |
| 12                       | 179,4                   | 2561,3                | 316,3                   | 3466,7                | 4,5                                       | 87    |
| 13                       | 166,7                   | 2728,0                | 225,5                   | 3692,2                | 4,2                                       | 63    |

Исходные количества растительного материала (в абсолютно сухом веществе) при силосовании 163 г, при сушке 15 г

Обнаружено большое расхождение в динамике выделения углекислого газа между силосованием и сушкой. Процесс силосования протекает в три этапа, характеризующиеся разной интенсивностью выделения углекислого газа: первоначальный латентный период с низким выделением, не превышающим 5 мг CO<sub>2</sub> в час на 100 г исходного сухого вещества, период бурного брожения, в котором выделение CO<sub>2</sub> повышается до 13 с лишним мг CO<sub>2</sub> в час на 100 г исходного сухого вещества и, наконец, период дображивания, в котором выделение CO<sub>2</sub> продолжается на низком уровне еще долгое время (не менее 131 дня по Петерсону и Фреду [3]).

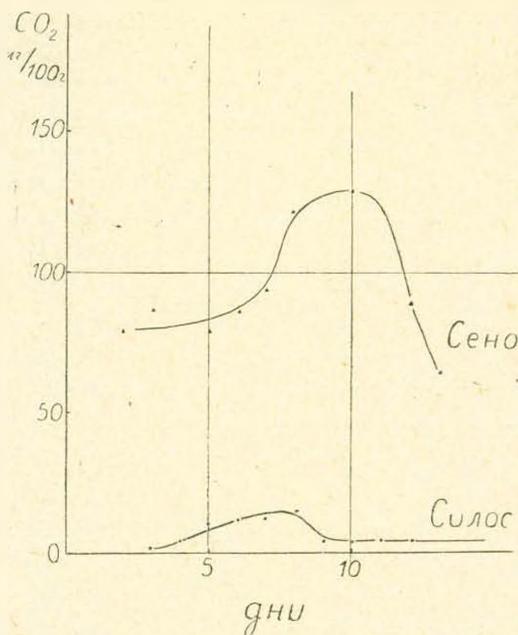


Рис. 4.

Процесс сушки характеризуется более равномерным выделением CO<sub>2</sub>, которое продолжается до полного израсходования растворимых углеводов или завершения процесса сушки.

Вышеприведенные исследования приводят нас к следующим выводам.

1. Кондуктометрическое определение углекислого газа является весьма точным микрометодом для изучения хода бродильных процессов при силосовании и дыхания при сушке зеленых растительных тканей.

2. Кондуктометрическим методом определены те глубокие расхождения в динамике бродильных процессов, которые имеют место при силосовании обычным способом и посредством применения сернистого ангидрида и смеси соляной кислоты и сернокислого натрия.

3. Кондуктометрическим методом определены особенности в динамике выделения углекислого газа с одной стороны во время сушки и с другой — во время силосования при одинаковых температурных условиях.

Институт животноводства и ветеринарии  
МСХ АрмССР

Поступило 19 III 1959 г.

Մ. Ա. ՏԵՐ-ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Մ. Ն. ՄԱԼԱՏՅԱՆ

ԲՈՒՍԱԿԱՆ ՀՈՒՄԲԵՐԻ ՍԻՆՏԵԶԻՄԱՆ ԵՎ ՉՈՐԱՅՄԱՆ ԸՆԹԱՅՔՈՒՄ  
ԱՍԽԱԹՔՈՒ ԳՕԶԻ ԱՐՏԱԹՈՐՄԱՆ ԳԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ԿՈՆԴՈՒԿՏՈՄԵՏՐԻԿ  
ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Սիլոսացման ընթացքում առաջանում է զգալի քանակությամբ ածխաթթու գազ, որի հիմնական աղբյուրներն են բուսական հումքերի անսերոբ շնչառությունը, ինչպես նաև միկրոօրգանիզմների և ֆերմենտների ազդեցությամբ առաջացրելի անսերոբ ճեղքումը:

Սրտերի չորացման ընթացքում առաջանում է նույնպես ածխաթթու գազ, որի հիմնական աղբյուրը բուսական հյուսվածքների սերոբ շնչառությունն է:

Բուսական հումքերի սիլոսացման ու չորացման պրոցեսում առաջացած ածխաթթու գազի ընդհանուր քանակի և արտաթորման գինամիկայի որոշումը ունի որոշ տեսական և գործնական նշանակություն:

Ներկա աշխատության նպատակն է կոնդակտոմետրիկ մեթոդի կիրառման միջոցով հաշտնարեել՝

ա) խմորման պրոցեսների գինամիկայի այն զգալի տարբերությունները, որոնք տեղի ունեն սիլոսացման տարբեր կայանակների ընթացքում,

բ) բուսական հումքերի սիլոսացման և չորացման ժամանակ ածխաթթու գազի արտաթորման գինամիկայի առանձնահատկությունները:

Սիլոսացման համար որպես հումք ընտրված են եղիպտացորենի թարմ կոդրերը կաթնամամային հաստենացման ֆազում, իսկ սիլոսացման և չորացման պրոցեսների դուզանեռ ուսումնասիրության համար՝ շաքարի ճակնդեղի կանաչ փրերը:

Ճակնդեղի չորացման փորձերը կատարվել են էքսիկատորում, որտեղից առաջացած ածխաթթու գազը ճեռագվել է մաքրված օդի հոսանքի միջոցով:

Սիլոսացման փորձերը կատարվել են ապակյա հերմետիկ անոթներում, որոնք օժտված են կղի հատակ հարմարանքով՝ ածխաթթու գազի հեռացման համար (նկ. 1ա և բ):

Երևույթը պայքում էլ ածխաթթու գազի կոնդուկտոմետրիկ որոշումը կատարվել է Բրունտի, Բրաուզեի և Յիլլիսի նկարագրած եղանակով:

Սիլոսացման սարքեր եղանակների ուսումնասիրությունը ցույց է տվել, որ սուլֆիտային սիլոսում (պրեպարատ  $\text{SO}_2$ ) ածխաթթու գազի արտաթորումը խիստ արգելակվում է, իսկ թթվային սիլոսում (պրեպարատ  $\text{AA3}$ ) ածխաթթու գազի արտաթորումն առաջին օրերին զգալի չափով նվազում է և 8-րդ օրից հետո արտադանալով համեմատ է սովորական սիլոսի մակարդակին:

Ճանդեղի փրերի սիլոսացման և չորացման համեմատական ուսումնասիրությունը ցույց է տվել, որ զրված փորձի պայմաններում չորացման ընթացքում արտաթորված ածխաթթու գազի քանակը՝ վերահաշված 100 գ չոր հումքի վրա, 10 անգամից ավելի է, քան սիլոսացման ընթացքում արտաթորված ածխաթթու գազի քանակը:

Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ կոնդուկտոմետրիկ մեթոդի կիրառումով կարող են նոր տվյալներ ստացվել բուսական հումքերի սիլոսացման և չորացման պրոցեսների մեխանիզմի պարզաբանման գործում:

#### ЛИТЕРАТУРА

1. A. I. Virtanen. Cattle fodder and human nutrition. London, 1938.
2. А. Дж. Барнет. Процессы брожения в силосе. Русский перевод, М., 1955.
3. А. А. Зубрилин. Научные основы консервирования зеленых кормов. М., 1947.
4. М. А. Тер-Карапетян, А. М. Оганджаниян. Труды института животноводства и ветеринарии. (в печати), 1958.
5. А. I. Virtanen по Барнету [2].
6. М. А. Тер-Карапетян, Э. Х. Азарян, Г. С. Арутюнян. Известия АН АрмССР (биол. и сельхоз. науки), 11, 7, 55, 1958.
7. Брунс, Брауде, Циклис. Анализ газов в химической промышленности, М., 1954.