

Д. Лоля, Я. Фрейманис, М. Гавар,  
Ю. Понелис, И. Туровский, В. Беликов

## ПРОТОЛИТИЧЕСКОЕ РАСЩЕПЛЕНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ 2,5-ДИМЕТОКСИ-2,5-ДИГИДРОФУРАНА

На основе анализа продуктов протолитического расщепления метилового эфира 3-(2,5-диметокси-2,5-дигидрофурил-2)пропионовой кислоты I в присутствии смешанных нуклеофилов, а также изучения их взаимного превращения выявлены основные пути распада протонированной молекулы I, обуславливающие образование как линейных продуктов расщепления — производных 1,4-дикетонов и 4-кетопимелиновой кислоты, так и производных фурилкарбинола.

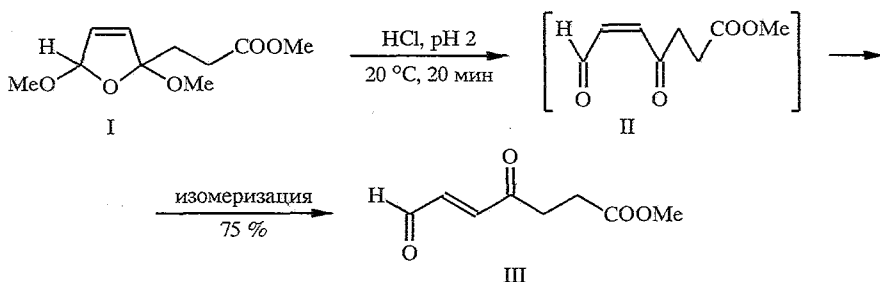
Реакция кислотного расщепления производных 2,5-диалкокси-2,5-дигидрофурана применяется в органической химии для получения таких ценных исходных веществ для синтеза сложных природных соединений, как малеинальдегид [1—4], фумаральдегид [3, 4], 3-ацетилакролеин [1, 2], 3-ацетилакриловая кислота и ее производные [5, 6], левулиновая кислота и ее производные [5, 7, 8], а также большое количество 1,4-дикетонов [9—11]. Последние широко используются в синтезе производных оксиклопентенона [12—18].

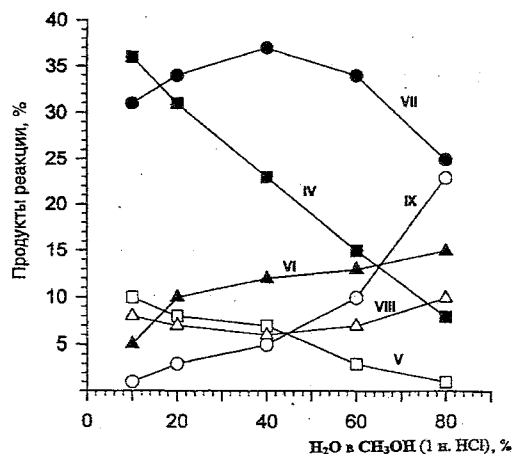
Гидролитическое расщепление цикла 2,5-диалкокси-2,5-дигидрофуранов является сложным процессом, приводящим к образованию многокомпонентной смеси нестабильных продуктов реакции [4—8], механизм которого детально не ясен.

В настоящей работе исследовано протолитическое расщепление метилового эфира 3-(2,5-диметокси-2,5-дигидрофурил-2)пропионовой кислоты I в присутствии как индивидуальных, так и смешанных нуклеофилов ( $H_2O$ ,  $MeOH$ ).

Ранее нами исследовано применение соединения I в качестве доступного исходного сырья в синтезе 4-окси-2-метоксикарбонилметил-2-циклопентен-1-она — полупродукта для получения простагландинов [19], а также его термическая стабильность [20]. Кроме того, мы предполагаем, что линейные продукты расщепления изучаемого соединения — производные 1,4-диенонов, содержащие семь углеродных атомов — могут иметь самостоятельное применение в органическом синтезе.

Расщепление соединения I в разбавленной соляной кислоте при pH 2 приводит к образованию нестабильного *цис*-ендиона II, который в слабощелочной среде легко циклизуется в 3-окси-2-метоксикарбонилметил-4-циклопентен-1-он [19], а в присутствии каталитического количества йода с высоким выходом изомеризуется в метиловый эфир *транс*-4,7-диоксогепт-5-еновой кислоты (III).



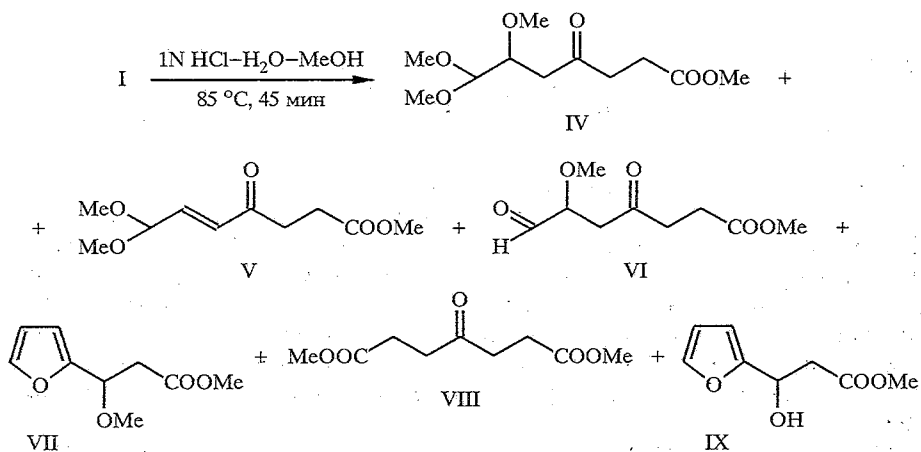


Влияние соотношения H<sub>2</sub>O—MeOH на выход продуктов расщепления метилового эфира 3-(2,5-диметокси-2,5-дигидрофурил-2)пропионовой кислоты (I)

При обработке исходного соединения I безводным хлористым водородом в метаноле при комнатной температуре в течение 2 ч основным продуктом расщепления является метиловый эфир 4-оксо-6,7,7-триметоксигептановой кислоты (IV) с выходом 48...50%, кроме того, реакционная смесь содержала 11...12% метилового эфира 4-оксо-7,7-диметоксигепт-5-еновой кислоты (V), 1...6% метилового эфира 4,7-диоксо-6-метоксигептановой кислоты (VI), 21...26% метилового эфира 3-метокси-3-(фурил-2)пропионовой кислоты (VII) и 4...6% диметилового эфира 4-оксогептан-1,7-дикарбоновой кислоты (VIII).

Расщеплением диметоксидигидрофурана I водным раствором 0,1 н. HCl в присутствии метанола была получена реакционная смесь, состоящая из 6 соединений, соотношение которых зависит от количества конкурирующего нуклеофила метанола в реакционной смеси (рисунок).

Среди продуктов расщепления мы идентифицировали ацетали IV, V, альдегид VI, производные фурилкарбинола VII, IX и диметиловый эфир 4-оксопимелиновой кислоты VIII. Все реакционные смеси анализировали ТСХ, ГЖХ и хромато-масс-спектрометрическими методами. Индивидуальные соединения выделены методом колоночной хроматографии на силикагеле и их структура подтверждена спектрами ПМР <sup>1</sup>H.



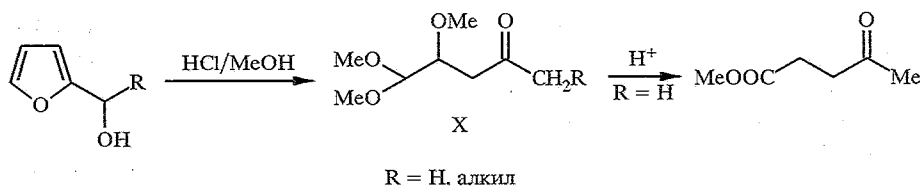
Наблюдается большое сходство при сравнении продуктов расщепления фурилкарбинолов и 2,5-диалкокси-2,5-дигидрофуранов в кислой среде. В литературе ациклические ацетали X были выделены из продуктов

Хроматографические свойства соединений I—IX, XI

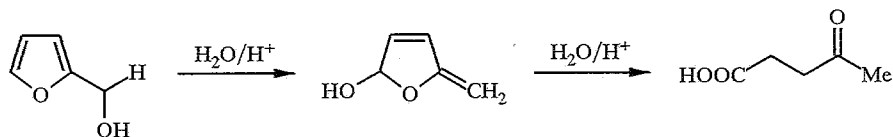
| Соединение | ГЖХ анализ,<br>$t_R$ , мин | ТСХ                                    |              |                      |
|------------|----------------------------|----------------------------------------|--------------|----------------------|
|            |                            | $R_f$<br>(гексан—этилацетат,<br>1 : 1) | визуализация |                      |
|            |                            |                                        | УФ лампа     | окраска<br>(ванилин) |
| I          | $7,32 \pm 0,05$            | 0,68; 0,60*                            | —            | с                    |
| II         | —                          | 0...0,30                               | +            | о                    |
| III        | $6,73 \pm 0,10$            | 0,43                                   | +            | к                    |
| IV         | $10,14 \pm 0,07$           | 0,28                                   | —            | с                    |
| V          | $9,41 \pm 0,02$            | 0,50                                   | ±            | с                    |
| VI         | $7,88 \pm 0,05$            | 0,14                                   | —            | с                    |
| VII        | $4,98 \pm 0,07$            | 0,06                                   | ±            | ж                    |
| VIII       | $8,24 \pm 0,05$            | 0,38                                   | —            | (о)                  |
| IX         | $5,43 \pm 0,06$            | 0,76                                   | ±            | с                    |
| XI         | $6,84 \pm 0,05$            | 0,64; 0,70*                            | +            | с                    |

\* *цис*- и *транс*-Изомеры, с — синий, о — оранжевый, к — коричневый, ж — желтый.

расщепления фурилкарбинолов в кислой среде [21, 22]. Дальнейшая реакция ацетала X ( $R = H$ ) с хлористым водородом в метаноле приводила к образованию метилового эфира левулиновой кислоты с выходом 70...75% [22].



Кроме того, спектры ЯМР  $^{13}C$  доказывают предположение [23, 24] об образовании 2-окси-5-метилен-2,5-дигидрофурана в качестве основного промежуточного соединения при синтезе левулиновой кислоты из фурилметанола [25, 26].



Для детального исследования реакции расщепления соединения I альдегиды II и III были использованы как модельные вещества и обработаны тремя реакционными растворами: А — безводным  $HCl/MeOH/CHCl_3$ ; В — безводным  $HCl/MeOH/CHCl_3$  с добавкой каталитического количества триметилформиата; С —  $HCl/MeOH/CHCl_3$  с добавкой каталитического количества воды. Все смеси нагревали в течение 20 мин при  $60^\circ C$  и исследовали ТСХ, ГЖХ и хромато-масс-спектрометрическими методами. Результаты хроматографического анализа представлены в табл. 2.

Одновременное образование производных альдегидов IV—VI, производного фурана VII и диметилкоксимелата VIII указывает на конкурирующие реакции протонированной молекулы дигидрофурана I (опыты 1—3). При обработке *цис*-альдегида II растворами А, В и С (опыты 4...6) продукты реакции и их соотношения практически не отличались от предыдущей серии.

Хроматографический анализ реакционной смеси продуктов расщепления соединения I и модельных веществ

| Номер опыта | Соединение | Растворитель | Продукты реакции |       |       |       |       |       |       |
|-------------|------------|--------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             |            |              | I                | III   | IV    | V     | VI    | VII   | VIII  |
| 1           | I          | A            | —                | —     | 31,75 | 1,91  | 8,96  | 23,19 | 28,38 |
| 2           |            | B            | —                | —     | 35,03 | 4,46  | 6,11  | 26,54 | 21,84 |
| 3           |            | C            | 7,01             | 30,30 | 9,44  | 5,68  | 14,31 | 18,48 | 7,41  |
| 4           | II         | A            | 0,98             | —     | 14,84 | —     | 24,49 | 28,91 | 21,17 |
| 5           |            | B            | —                | —     | 36,65 | 2,28  | 13,03 | 22,80 | 16,68 |
| 6           |            | C            | 21,11            | 21,51 | 6,18  | 4,06  | 11,87 | 18,48 | 6,23  |
| 7           | III        | A            | —                | 8,55  | 30,67 | 16,17 | 18,95 | 6,34  | 9,53  |
| 8           |            | B            | 0,50             | —     | 54,89 | 2,32  | 21,21 | 4,93  | 7,61  |
| 9           |            | C            | 4,26             | 31,12 | 0,07  | 49,21 | 4,43  | 2,70  | —     |
| 10          | XI         | A            | —                | —     | 19,87 | —     | 15,94 | 29,25 | 33,41 |
| 11          |            | B            | —                | —     | 4,41  | —     | 16,94 | 30,01 | 47,23 |
| 12          |            | C            | —                | 16,79 | 3,71  | —     | 12,54 | 40,14 | 24,93 |

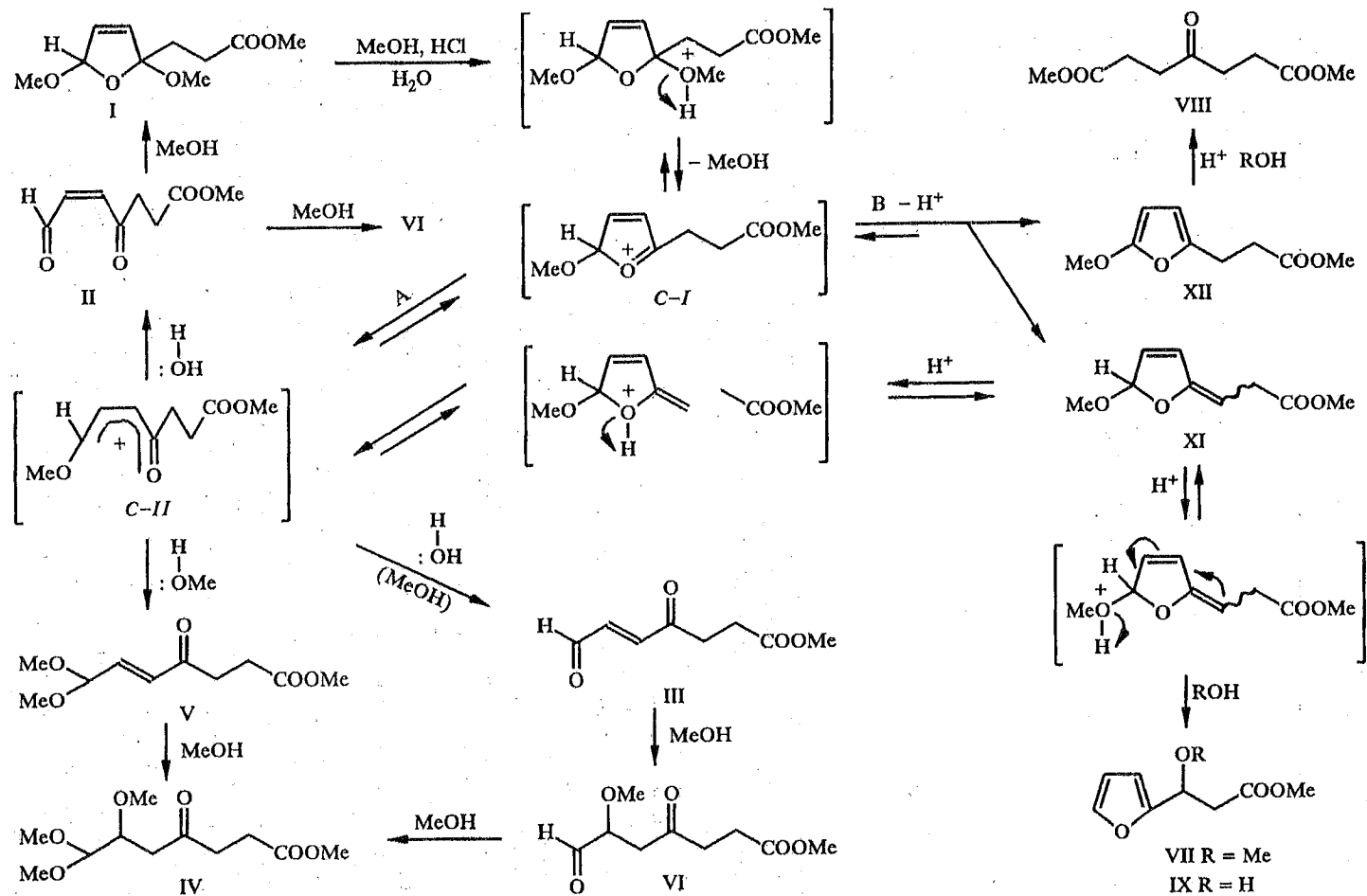
Очевидно, существует равновесие между *цис*-альдегидом и дигидрофураном I. В то же время равновесие между *транс*-альдегидом III и дигидрофураном I наблюдается в меньшей степени (опыт 9).

Основные реакции протолитического расщепления дигидрофурана I представлены на схеме.

Первоначальное протонирование кислородного атома 2-метоксигруппы циклического ацетала и элиминация молекулы  $\text{CH}_3\text{OH}$  приводят к образованию карбониевого иона *C-I*, который, разрывая связь цикла  $\text{C}(2)-\text{O}$ , согласно пути A, через промежуточный ион карбония *C-II* и взаимодействуя с нуклеофилами ( $\text{MeOH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ), обеспечивает образование продуктов раскрытия цикла II—VI. При реакции соединения I с соляной кислотой в отсутствие метанола образуется исключительно *цис*-альдегид II, а реакция в присутствии смешанных нуклеофилов дает оба альдегида II и III (опыты 3, 6) (*цис*-альдегид в реакционной смеси определяется только методом ТСХ). Очевидно, это можно объяснить сольволитической стабилизацией промежуточного иона *C-II* метанолом, что вызывает *E/Z*-изомеризацию и/или присоединение  $\text{MeOH}$  к двойной связи по реакции Михаэля, обеспечивая образование соединений IV—VI.

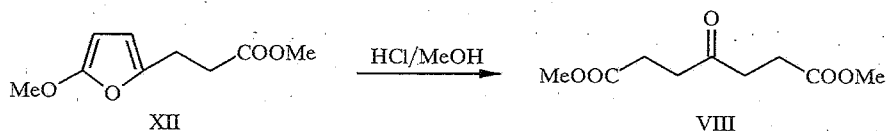
Можно было предполагать, что, подобно образованию левулиновой кислоты из ацетала X ( $\text{R}=\text{H}$ ) [22], соединение IV может превращаться в метиловый эфир 4-оксопимелиновой кислоты (VIII), но в модельной реакции при кипячении соединения IV в безводном растворе  $\text{HCl}/\text{MeOH}$  в течение 1 ч в реакционной смеси обнаружили 60,5% непрореагировавшего ацетала IV, 4,35% альдегида VI, 16,9% соединения VII и лишь 7,8% соединения VIII. Этот результат показывает, что основное количество соединения VIII образуется не из триметоксисоединения IV, а другим путем.

Конкурирующая стабилизация промежуточного иона *C-I*, согласно пути B, может осуществляться либо депротонированием 5-Н цикла, либо атома водорода в боковой цепи. В этом случае образуются высокореакционноспособные соединения — метиловый эфир 3-(5-метокси-2,5-дигидро-2-фурфурилиден)пропионовой кислоты (XI) и метиловый эфир 3-(5-метоксифурлил-2)пропионовой кислоты (XII) соответственно. Чтобы доказать это предположение были проведены опыты с индивидуальными соединениями XI и XII, полученными пиролизом соединения I при 200 °C [20].



При обработке соединения XI смесями А, В и С в качестве основных продуктов реакции были выделены фуран VII и кетопимелат VIII (табл. 2, опыты 10—12). Этот эксперимент подтверждает, что образование соединений VII и VIII в основном протекает по пути В; соединение XI является истинным промежуточным соединением в этом процессе. Соединение XI нельзя обнаружить в реакционной смеси, так как оно в присутствии кислот быстро реагирует с нуклеофилами.

Соединение XII с безводным раствором HCl/MeOH моментально образует кетопимелат VIII с выходом 88,6%.



### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Спектры ПМР регистрировали на спектрометрах WH-90/DS и WM-360 при комнатной температуре в растворах  $\text{CDCl}_3$  с TMC в качестве внутреннего стандарта. Хромато-масс-спектры сняты на приборе MS-25 (Kratos) с ионизационным потенциалом 70 эВ. Для элементного анализа использован прибор Carlo Erba EA-1108. Температуры плавления определены на микронагревательном столике Voetius и не корректированы. ТСХ анализы проведены на пластинках Silufol UV-254. Пластинки опрыскивали ванилиновым реагентом, приготовленным из 3 г ванилина, 100 мл этанола и 1 мл конц.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , затем нагревали при 130 °С до появления окрашенных пятен. Для препаративной колоночной хроматографии применялся силикагель Silasorb 600 (LC) (30 мкм); элюент гексан—этилацетат, 2 : 1. Все растворители очищены рутинными методами. ГЖХ анализ проведен на хроматографе Varian 3700 на капиллярной кварцевой колонке 5 м × 0,53 мм, толщина неподвижной фазы 2,5 мкм, температура 60...200 °С (10°С/мин), газ-носитель  $\text{N}_2$ , 0,18 атм. Ввод пробы без деления потока. Начало деления потока 0,5 мин. Реакционные смеси упаривали в вакууме при температуре водяной бани ≤ 30 °С.

Синтез модельных соединений. Соединения I, VII, XI и XII получены согласно [20] (хроматографические характеристики см. в табл. 1). Синтез соединения IX описан в работе [27].

Гидролиз метилового эфира 3-(2,5-диметокси-2,5-дигидрофурил-2)пропионовой кислоты (I). А. К 3,0 мл буферного раствора (0,18 мл конц. HCl и 0,54 г NaCl разбавляют до 200 мл водой; рН 2) добавляют 0,22 г (1 ммоль) дигидрофурана I и перемешивают в течение 15 мин при комнатной температуре, экстрагируют 2 мл  $\text{CDCl}_3$ , быстро фильтруют через небольшой слой безводного  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Раствор метилового эфира *цис*-4,7-диоксегепт-5-еновой кислоты (II) анализируют методом ПМР (360 МГц): 2,70 (2H, т,  $J = 6,3$  Гц,  $\text{H}^2$ ), 2,95 (2H, т,  $J = 6,3$  Гц,  $\text{H}^3$ ), 3,67 (3H, с,  $\text{COOCH}_3$ ), 6,21 (1H, д, д,  $J = 7,0$ ,  $J = 11,9$  Гц,  $\text{H}^6$ ), 6,95 (1H, д,  $J = 11,9$  Гц,  $\text{H}^5$ ), 7,86 (1H, д,  $J = 7,0$  Гц,  $\text{H}^7$ ). Для ТСХ и ГЖХ анализов раствор сохраняют при -20 °С. Соединение II разлагается при упаривании.

Б. К 1,08 г (5 ммоль) дигидрофурана I добавляют 11,0 мл буферного раствора и перемешивают в течение 15 мин при комнатной температуре, экстрагируют  $\text{CHCl}_3$  (3 × 10 мл), сушат 30 мин над безводным  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , добавляют каталитическое количество (~5 мг) йода. Через 5 мин растворитель упаривают в вакууме и получают 0,64 г (75%) метилового эфира *транс*-4,7-диоксегепт-5-еновой кислоты (III), достаточно чистого для спектроскопических анализов. Спектр ПМР (360 МГц): 2,71 (2H, т,  $J = 6,3$  Гц,  $\text{H}^2$ ), 3,03 (2H, т,  $J = 6,3$  Гц,  $\text{H}^3$ ), 3,49 (3H, с,  $\text{COOCH}_3$ ), 6,83 (1H, д, д,  $J = 16,8$ ,  $J = 7,0$  Гц,  $\text{H}^6$ ), 6,93 (1H, д,  $J = 16,8$  Гц,  $\text{H}^5$ ), 8,26 (1H, д,  $J = 7,0$  Гц,  $\text{H}^7$ ). Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 139 ( $\text{M}-\text{OCH}_3$ , 11)<sup>+</sup>, 138 ( $\text{M}-\text{CH}_3\text{OH}$ , 20)<sup>+</sup>, 115(8), 111(10), 97(7), 87(7), 83(62), 59(30), 55(100). Для ТСХ и ГЖХ анализов раствор сохраняют при -20 °С. Соединение III разлагается в присутствии воздуха.

В. К 1,08 г (5 ммоль) дигидрофурана I добавляют 25 мл раствора MeOH-H<sub>2</sub>O, содержащего 0,1 моль/л HCl (MeOH/H<sub>2</sub>O см. на рисунке) и нагревают при 80 °С (температура масляной бани) 45 мин, охлаждают, добавляют 5 мл насыщенного раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , метанол упаривают в вакууме и экстрагируют бензолом (3 × 10 мл). Экстракт промывают насыщенным раствором NaCl (2 × 10 мл), сушат над безводным  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , отфильтровывают и упаривают в вакууме. Продукт анализируют методами ГЖХ, ТСХ и хромато-масс-спектрометрии. Масс-спектры,  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %):

соединение IV — 217 (M-OCH<sub>3</sub>, 0,04)<sup>+</sup>, 216 (M-CH<sub>3</sub>OH, 0,1)<sup>+</sup>, 185(0,1), 173(0,1), 167(0,1), 161(0,07), 153(3), 115(13), 101(5), 75(100), 59(8), 55(12); соединение V — 185 (M-OCH<sub>3</sub>, 8)<sup>+</sup>, 169(5), 153(40), 143(4), 141(28), 129(11), 125(23), 115(7), 111(28), 97(38), 83(22), 75(100), 69(18), 59(50), 55(70); соединение VI — 173 (M-CHO, 12)<sup>+</sup>, 143(4), 141(5), 139(10), 115(85), 111(9), 87(28), 73(12), 59(51), 55(100). Спектры ПМР и масс-спектрометрические характеристики соединения VII представлены в работе [17]; соединение VIII — 171 (M-OCH<sub>3</sub>, 1,7)<sup>+</sup>, 143(14), 115(100), 111(38), 87(12), 73(5), 59(49), 55(88).

Г. К 1,08 г (5 ммоль) дигидрофурана I добавляют 25,0 мл безводного 0,1 н. HCl в MeOH и перемешивают при комнатной температуре 2 ч. Реакционную смесь обрабатывают как указано выше и анализируют методом ГЖХ. Колоночной хроматографией на 50 г силикагеля выделяют 0,55 г (47%) соединения IV. Спектр ПМР (90 МГц): 2,59 (2H, м, J=17,0, J=6,6 и 5,7 Гц, H<sup>2</sup>), 2,68 (2H, м, J=17,0, J=7,1 и 4,8 Гц, H<sup>5</sup>), 2,78 (2H, м, J=18,0, J=6,6 и 5,7 Гц, H<sup>3</sup>), 3,42 (3H, с, OCH<sub>3</sub>), 3,43 (3H, с, OCH<sub>3</sub>), 3,435 (3H, с, OCH<sub>3</sub>), 3,68 (3H, с, COOCH<sub>3</sub>), 3,79 (1H, д, т, J=7,1 и 4,8, J=4,8 Гц, H<sup>6</sup>), 4,27 (1H, д, J=4,8 Гц, H<sup>7</sup>). Найдено, %: C 53,21, H 8,15. C<sub>11</sub>H<sub>20</sub>O<sub>6</sub>. Вычислено, %: C 53,21, H 8,12.

**Протолиз соединений I, II, III и XI.** Обрабатывают тремя различными смесями растворов 0,2 г (~0,1 ммоль) соединения I, альдегиды II и III, полученные in situ из 0,2 г (~0,1 ммоль) дигидрофурана I и 0,18 г (~0,1 ммоль) соединения XI:

- А) 2,0 мл CHCl<sub>3</sub>, 2,5 мл 0,1 н. безводного HCl/MeOH;
- В) 2,0 мл CHCl<sub>3</sub>, 2,5 мл 0,1 н. безводного HCl/MeOH, 0,1 мл CH(OCH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>;
- С) 2,0 мл CHCl<sub>3</sub>, 2,5 мл 0,1 н. HCl/MeOH, 0,5 мл H<sub>2</sub>O.

Реакционные растворы кипятят с обратным холодильником 20 мин, охлаждают до комнатной температуры и анализируют методом ГЖХ (табл. 2) и хромато-масс-спектрометрии.

**Гидролиз соединения IV.** Перемешивая, нагревают при 60...65 °С (температура водяной бани) 30 мин 0,166 г (~0,7 ммоль) соединения IV, 50 мг катионита Dowex 50-W, 3 мл ацетона и 0,4 мл H<sub>2</sub>O, фильтруют, упаривают в вакууме. Получают 0,12 г (89%) метилового эфира 4,7-диоксо-6-метоксипептановой кислоты (VI), достаточно чистого для спектроскопических исследований. Спектр ПМР (90 МГц): 2,68...2,95 (6H, м, H<sup>2</sup>, H<sup>3</sup>, H<sup>5</sup>), 3,52 (3H, с, OCH<sub>3</sub>), 3,73 (3H, с, COOCH<sub>3</sub>), 4,10 (1H, т, J=6,8 Гц, H<sup>6</sup>), 9,96 (1H, с, H<sup>7</sup>). При препаративной колоночной хроматографии продукт разлагается.

**Метанолиз соединения IV.** К 0,3 г (1,2 ммоль) хроматографически чистого IV добавляют 1,5 мл 0,1 н. безводного HCl/MeOH и кипятят с обратным холодильником в течение 1 ч, упаривают в вакууме. Получают 0,2 г продукта, содержащего 60,5% исходного IV, 4,35% альдегида VI, 16,9% соединения VII и 7,80% кетопимелата VIII.

**Метанолиз соединения XII.** Растворяют в 2 мл 0,1 н. безводного HCl/MeOH 25,6 мг (0,14 ммоль) соединения XII, через 5 мин упаривают в вакууме и хроматографируют на 2 г силикагеля (элюент гексан—этилацетат, 1 : 3). Получают 24,8 мг диметилового эфира 4-кетопимелата VIII. Выход 88,6% от теоретического, T<sub>пл</sub> 54,5...55,5 °С (в работе [28] T<sub>пл</sub> 56°С).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pat. 78673 Norv. // C. A. — 1952. — Vol. 46. — 1046i.
2. Pat. 2515304 USA // C. A. — 1950. — Vol. 44. — 8955.
3. Hufford D. L., Tarbell D. S., Koszalka T. R. // J. Amer. Chem. Soc. — 1952. — Vol. 74. — P. 3014.
4. Klauson-Kaas N., Nielsen J. T., Boss E. // Acta chem. Scand. — 1955. — Vol. 9. — P. 111.
5. Murakami M., Senoh S., Hata Y. // Proc. Japan Acad. — 1956. — Vol. 32. — P. 135; C. A. — 1956. — Vol. 50. — 15504i.
6. Šrogl J. // Coll. Czech. Chem. Commun. — 1964. — Vol. 29, N 6. — P. 1380.
7. Murakami M., Senoh S., Hata Y. // Mem. Inst. Sci. Ind. Research Osaka Univ. — 1956. — Vol. 13. — P. 173; C. A. — 1957. — Vol. 51. — P. 5745.
8. Pat. 2946814 USA // C. A. — 1961. — Vol. 55. — 2490d.
9. Kametani T., Fukumoto K. // Heterocycles. — 1978. — N 10. — P. 469.
10. Martin S. F., Gluchowski Ch., Campbell C. L., Chapman R. C. // Tetrahedron. — 1988. — Vol. 44. — P. 3171.
11. Piancatelli G., D'Auria M., D'Onofrio F. // Synthesis. — 1994. — N 9. — P. 867.
12. Floyd M. B. // J. Org. Chem. — 1978. — Vol. 43, N 9. — P. 1641.
13. Ложа Э. В., Лоля Д. О., Фрейманис Я. Ф., Туровский И. В., Гаварс М. П., Лиешиня А. Я. // Изв. АН ЛатвССР. Сер. хим. — 1985. — № 4. — С. 465.
14. Shono T., Hamaguchi H., Aoki K. // Chem. Lett. — 1977. — P. 1053.

15. Shono T., Matsumura Y., Yamane S., Suzuki M. // Chem. Lett. — 1980. — P. 1619.
16. Lee T. // Tetrah. Lett. — 1979. — P. 2297.
17. Elliott J. D., Hetmanski M., Stoodley R. J., Palfreyman M. N. // J. Chem. Soc. Perkin Trans. I. — 1981. — P. 1782.
18. Fujita Y., Nakai T. // Synthesis. — 1983. — P. 997.
19. Институт органического синтеза. 1957—1987 / Отв. ред. Лукевиц Э. Я. — Рига, 1987. — С. 38.
20. Лоля Д. О., Гаварс М. П., Лиепиньш Э. Э., Фрейманис Я. Ф., Бокалдере Р. П., Лиепиня А. Я., Сахартова О. В. // ХГС. — 1983. — № 9. — С. 1176.
21. Scettri A. // Tetrahedron. — 1985. — Vol. 41, N 22. — P. 5141.
22. Levis K. G. // J. Chem. Soc. — 1957. — P. 531.
23. Horvat J., Klaić B., Metelko B., Šunjic V. // Tetrah. Lett. — 1985. — Vol. 26, N 17. — P. 2111.
24. Horvat J., Klaić B., Metelko B., Šunjic V. // Croat. Chem. Acta. — 1986. — Vol. 59. — P. 429.
25. Birkofer L. B., Dutz R. // Ann. — 1957. — Vol. 608. — P. 7.
26. Birkofer L., Beckman F. // Ann. — 1959. — Vol. 620. — P. 21.
27. Лоля Д. О., Фрейманис Я. Ф., Бокалдере Р. П., Ложа Э. В., Лиепиня А. Я., Туровский И. В., Лиепиньш Э. Э., Гаварс М. П. // ЖОрХ. — 1985. — Т. 21, № 4. — С. 782.
28. Dictionary of organic compounds/ Fifth ed. — Chapman & Hall, 1982. — Vol. 4. — P. 4443, O-00830.

Латвийский институт органического  
синтеза, Рига LV-1006

Поступило в редакцию 02.12.96