

УДК 547.759757822.7:543.51

С. И. Бобровский, Е. В. Бабаев, Ю. Г. Бундель

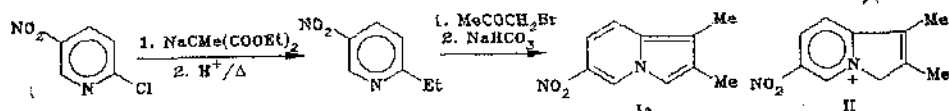
СТРОЕНИЕ И АМБИФИЛЬНАЯ РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ИНДОЛИЗИНОВ

6*. ГРАНИЦЫ ПРИМЕНИМОСТИ РЕАКЦИИ ИЗОМЕРИЗАЦИОННОЙ РЕЦИКЛИЗАЦИИ В РЯДУ ИНДОЛИЗИНОВ

Изучено поведение замещенных 6- и 8-нитроиндолизинов в условиях изомеризационной рециклизации. Разработан новый метод синтеза 2-ацил-5- и -7-нитроиндолов на основе рециклизации 3-ацил-6- и -8-нитроиндолизинов. Определены границы применимости реакции изомеризационной рециклизации индолизинов для синтеза индолов.

Важным частным случаем перегруппировки Коста—Сагитуллина [2] является обнаруженная этими авторами и Громовым [3] изомеризационная рециклизация 2-метил(фенил)-6- и -8-нитроиндолизинов с образованием соответствующих 3-метил(фенил)-5- и -7-нитроиндолов. По данным [3—6], наличие нитрогруппы в положении 6 или 8 индолизина является необходимым условием перегруппировки, но некоторые заместители в положении 2, 3 или 7 препятствуют рециклизации с образованием нитроиндола. В целом вопрос о границах применимости реакции рециклизации индолизинов с образованием индолов остается открытым.

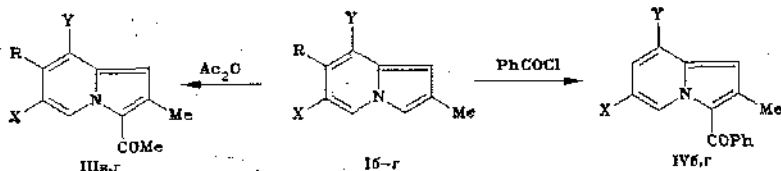
Мы исследовали влияние заместителей в различных положениях индолизинового бицикла на возможность протекания рециклизации 6- и 8-нитроиндолизинов. Изучено поведение гомологичных 2,7-диметил-, 2,5-диметил- и 2,5,7-триметил-8(6)-нитроиндолизинов, синтезированных нами ранее [7], и 3-ацил-6- и -8-нитроиндолизинов. По методу Чичибабина (без выделения промежуточного бромацетонилата) синтезирован также 1,2-диметил-6-нитроиндолизин (Ia), не способный подвергаться «обычной» рециклизации с образованием индола. Необходимый 2-этил-5-нитропиридин получен из хлорнитропиридина.



Аналогично синтезирован 2-метил-6-нитроиндолизин (Ib) [8]; в качестве растворителя на первой стадии (нуклеофильного замещения) в обоих случаях использовали ДМФА (ср. [9]). В спектре ПМР соединения Ia в CCl_4 или $CDCl_3$ совпадают резонансные сигналы как двух метильных групп, так и трех ароматических протонов. Информативный спектр ПМР удалось получить в CF_3COOH ; в спектре образующегося в кислой среде катиона ЗН-индолизиния II все резонансные сигналы «разведены».

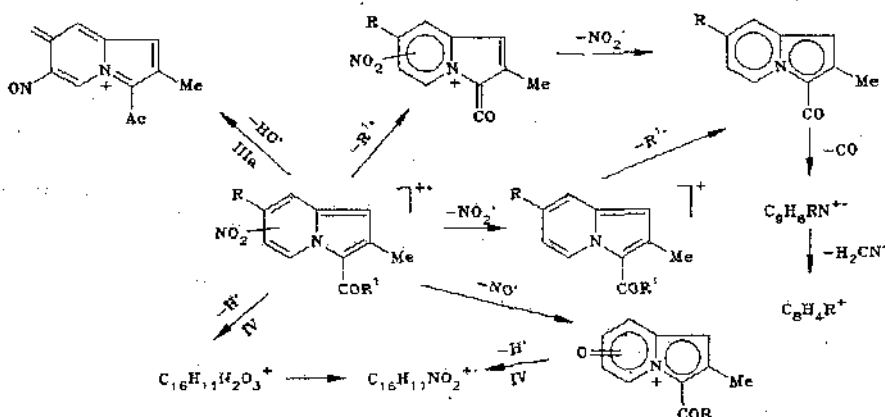
3-Ацил-6- и -8-нитроиндолизины получены ацилированием соответствующих нитроиндолизинов. При этом, в отличие от реакций ацилирования 2-метилиндолизина [1] и нитрования нитроиндолизина Ib [6], продукты замещения по положению I не обнаружены.

* Сообщение 5 см. [1].



16,в IIIв, IV6 X=NO₂, 1г, IIIг, IVг X=H; 16,в, IIIв, IV6 Y=H, 1г, IIIг, IVг Y=NO₂; 16,г, IIIг, IV6,г R=H, 1в, IIIв R=Me

Наблюдаемый в спектрах ПМР индолизинов IIIв,г, IV6,г сильный слабопольный сдвиг (>1 м. д.) протона 5-Н под действием *перид*-расположенной магнитно-анизотропной ацильной группы подтверждает образование 3-изомеров (табл. 1—4). Масс-спектральная фрагментация IIIв,г, IV6,г включает элиминирование заместителей из положения 6(8) и из ацильной группы; образующийся фрагмент теряет последовательно молекулу CO и радикал H₂CN. Для 3-бензоил-6- и -8-нитроиндолизинов IV6,г наблюдается также отщепление атома водорода; в случае соединения IIIв, содержащего *орто*-расположенные группы CH₃ и NO₂, реализуется также элиминирование радикала HO· («орто-эффект» [7, 10, 11]).



Синтезированные нитроиндолизины введены в реакцию рециклизации. Первой стадией рециклизации, протекающей в среде водно-спиртовой щелочи, является образование анионных σ -комплексов [3]. Оказалось, что УФ спектры таких комплексов для ди- и триметилнитроиндолизинов идентичны спектрам их нижших гомологов (табл. 2). Анионные комплексы ацилнитроиндолизинов поглощают в более длинноволновой области спектра, чем не содержащие азоксхромных ацильных групп σ -комплексы нитроиндолизинов со свободным положением

Таблица 1
Характеристики ацилнитроиндолизинов IIIв,г, IV6,г

Соединение	T _{пл.} °C (тетран)	R _f (бензол)	ИК спектр. см ⁻¹	Выход. %*
IIIв	174...175	0,06	1635, 1612	70
IIIг	172...173	0,10	1640, 1625	56
IV6	216...218	0,21	1632, 1612	84 (27)
IVг	148...149	0,21	1640, 1600	64 (52)

* Для соединений IV6,г указан выход на вступающий нитроиндолизин (в скобках — в пересчете на исходное вещество).

УФ спектры нитроиндолизинов I, III, IV и нитроиндолов V—VII

Соединение	Растворитель*	λ_{max} , нм (lg e)
Ia	а	213 (4,48), 309 (4,49), 462 (3,39)
	б	пл. 270...290 (3,8)
Iв	б	310 (3,73)
Iд	б	258+266 (4,04), 357 (3,66), пл. 466 (2,88)
Ie	б	254 (3,75), 266 (3,75), пл. 288 (3,37), 365 (4,12), пл. 475 (1,72)
Iж	б	261+268 (4,11), 356 (3,63), пл. 465 (3,30)
IIIв	а	пл. 213 (3,13), 265 (3,19), пл. 290 (2,97), 342 (2,62), 353 (2,57), пл. 409 (2,35)
IIIг	а	пл. 225 (2,84), 260 (2,57), 308 (3,27), 350 (2,57), 438 (1,89)
	б	пл. 255...265 (3,55), 305 (4,29), 358 (3,67), 420 (3,28)
IVб	а	215 (3,23), 274 (3,21), 350 (2,77), 360 (2,77), 404 (2,46)
	б	275 (3,95), 360 (3,53), 400 (3,44)
IVг	а	252 (2,97), 316 (3,11), 373 (2,85), 434 (1,85)
	б	252 (4,14), 3,10 (4,32), 365 (4,04), пл. 410 (3,71)
V	а	215 (4,08), 275 (3,82), 326 (3,44)
VIв	а	292 (3,53), пл. 350 (2,93)
VIг	а	229 (2,33), 255 (2,57), 292 (2,60), 370 (2,56)
VIIб	а	252 (3,35), 305 (3,41), пл. 340 (3,0)
VIIг	а	233 (3,28), 252 (3,09), 316 (3,00), 366 (2,96)

* а — 96% этанол; б — раствор 2,5 н. КОН в 96% этаноле.

3, но при меньших длинах волн, чем анионные комплексы динитроиндолизинов (см. [6]). Строение σ -комплексов для соединений Iв, IVб подтверждено также методом ПМР (табл. 3).

2,7-Диметил-6-нитроиндолизин рециклизуется с образованием 3,6-диметил-5-нитроиндола, тогда как изомерные 2,7-диметил- и 2,5-диметил-8-нитро-, а также 2,5,7-триметил-8-нитроиндолизин (Iд—ж) осмоляются, не приводя к соответствующим нитроиндолам:

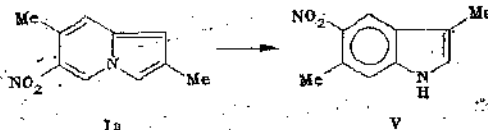


Таблица 3

Спектры ПМР соединений I, III, IV—VII

Соединение	Растворитель	δ , м. л.						
		1-Н (1-Me)	2-Me (заместитель)	3-Н (заместитель)	5-Н	6-Н (6-Me)	7-Н (7-Me)	8-Н (4-Н)
Ia	CCl ₄	(2,35)	(2,35)	7,25	9,10	—	7,25	7,25
	CF ₃ COOH	(2,30)	(2,15)	5,30	9,80	—	9,00	7,90
Iв	Р-р CD ₃ ONa в CD ₃ OD	5,7	(2,0)	6,55*	6,7*	—	(2,4)	5,95
IIIв	CDCl ₃	6,28	(2,6)	(2,6)	10,83	—	(2,6)	7,17
IIIг	CDCl ₃	7,21	(2,60)*	(2,67)*	10,24	6,83	8,15	—
IVб	CDCl ₃	6,45	(1,97)	(7,5)	10,57	—	7,77	7,37
	Р-р CD ₃ ONa	6,1	(1,75)	(7,65)	—**	—	7,3	6,3
IVг	CDCl ₃	7,20	(2,00)	(7,50)	9,85	6,85	8,20	—
V	CD ₂ Cl ₂	—	7,00	(2,35)	—	(2,70)	7,15	8,30
VIв	(CD ₃) ₂ CO	—	(2,75)	(2,75)	—	(2,75)	7,45	8,25
VIг	(CD ₃) ₂ CO	—	(2,7)	(2,7)	7,2	8,1	—	8,4
VIIб	(CD ₃) ₂ CO	11,2	7,60	(2,77)	—	8,17	7,60	8,63
VIIг	(CD ₃) ₂ CO	—	7,60	(2,67)	7,30	8,30	—	8,17

* Возможно обратное отнесение сигналов.

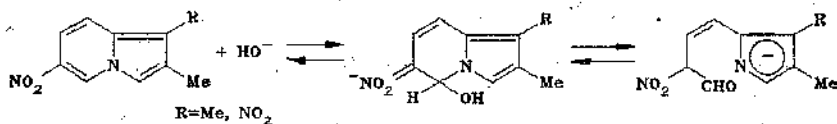
** Попадает в область поглощения растворителя.

Масс-спектры нитроиндолизинов I, III, IV и нитроиндолов V—VII*

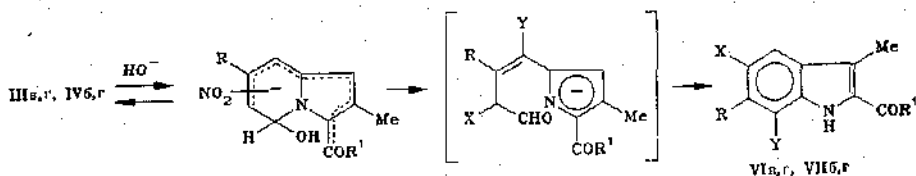
Соединение	m/z ($t_{отн}^*$ %)
Ia	190 (100), 189 (35), 145 (20), 144 (64), 143 (63,5), 142 (23), 129 (8), 128 (9), 117 (14,5), 115 (30)
IIIв	232 (100), 217 (40), 215 (67), 202 (1,5), 186 (25,5), 170 (230), 144 (18), 143 (29), 142 (15,5), 115 (11)
IIIг	218 (100), 204 (7,5), 203 (71,5), 188 (2,5), 175 (9), 172 (16), 157 (27), 129 (49,5), 128 (12), 101 (13,5)
IVб	280 (100), 279 (126,5), 250 (5), 249 (7,5), 234 (23,5), 233 (57), 204 (42), 203 (21,5), 157 (19,5), 129 (10)
IVг	280 (100), 279 (84), 250 (20), 249 (24,5), 234 (13), 203 (14), 157 (9,5), 129 (34), 128 (8), 101 (18)
V	190 (100), 174 (17,5), 173 (129), 149 (7,5), 145 (44), 144 (45,5), 143 (55), 142 (22), 128 (23,5), 118 (55,5)
VIв	232 (100), 217 (18,5), 215 (118,5), 202 (11), 199 (23), 186 (18,5), 171 (15,5), 166 (17), 143 (43), 116 (24,5)
VIг	218 (100), 203 (55,5), 200 (137), 171 (70,5), 170 (122), 157 (52), 142 (37), 129 (40,5), 128 (33,5), 102 (40,5)
VIIб	280 (100), 279 (80,5), 264 (15,5), 262 (9,5), 233 (16,5), 232 (54), 217 (16,5), 204 (28), 158 (14), 129 (21)
VIIг	280 (100), 279 (31), 262 (82), 260 (22), 234 (60), 232 (75), 204 (72), 203 (25), 157 (13), 105 (39)

* Приведены 10 основных пиков (в скобках — интенсивности ионов в % от молекулярного иона).

1-Замещенные нитроиндолизины Ia и 2-метил-1,6-динитроиндолизин [6] возвращаются неизменными в условиях рециклизации (многочасовое кипячение с водно-спиртовой щелочью). Поскольку в этих условиях связь $C_{(5)}-N$ с неизбежностью, как и в случае аналогичных 1-незамещенных нитроиндолизинов, должна разрываться, обнаруженное возвращение исходных нитроиндолизинов может свидетельствовать об обратимости стадии раскрытия пиридинового цикла в реакции рециклизации.



3-Ацил-6- и -8-нитроиндолизины IIIв,г, IVб,г рециклируются в соответствующие изомерные 2-ацил-5- и 7-нитроиндолов* в более мягких условиях, чем не содержащие ацильную группу 6- и 8-нитроиндолизины.



Отметим, что ранее для синтеза подобных ацилнитроиндолов, являющихся, в частности, ключевыми в синтезе биологически активных соединений [13, 14], использовали многостадийные методики.

Легкость рециклизации объясняется участием ацильной группы в делокализации в пиррольном фрагменте молекулы отрицательного заряда, остающегося после разрыва связи $C_{(5)}-N$ в анионном σ -комплексе. В отличие от более электроотрицательной нитрогруппы (см. [6]) заместители $COCH_3$ и COC_6H_5 не препятствуют замыканию бензольного кольца молекулы индола на последних стадиях процесса $S_N ANRORC$.

* См. [12].

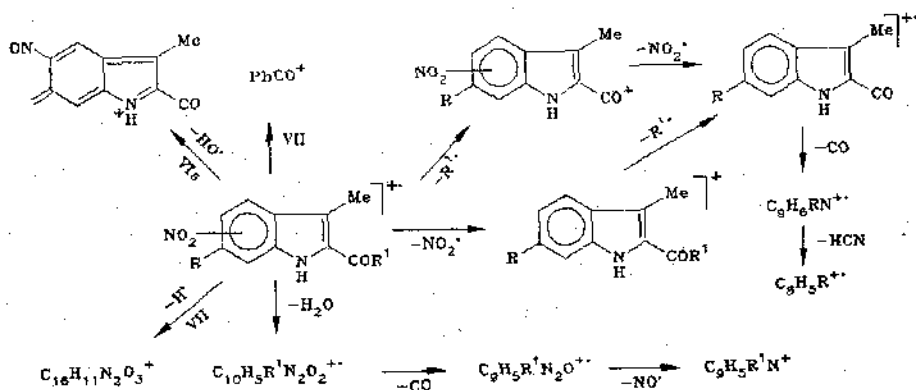
Характеристики ацилнитроиндолов VIв,г, VIIб,г

Соединение	Брутто-формула	T _{пл} , °C	ИК спектр, ν, см ⁻¹	МСВР*		Выход, %
				Найдено	Вычислено	
VIв	C ₁₂ H ₁₂ N ₂ O ₃	232...233	3300, 1640	232,0851	232,0848	61
VIIб	C ₁₁ H ₁₀ N ₂ O ₃	146...148	3486, 1665, 1640	218,0719	218,0691	90
VIIг	C ₁₆ H ₁₂ N ₂ O ₃	234...236	3410, 1625	280,0917	280,0848	73
VIIг	C ₁₆ H ₁₂ N ₂ O ₃	158...160	3475, 1650	280,0916	280,0848	30**

* Масс-спектр высокого разрешения.

** Выход не оптимизирован.

Строение индолов VIв,г, VIIб,г подтверждается спектральными данными (табл. 2—5). Масс-спектральная фрагментация включает элиминирование заместителя R ацильной группы и для индолов VIв, VIIг группы NO₂ (в случае соединения VIIб отщеплению групп R и NO₂ подвергается ион [M-H]⁺), а также отщепление молекулы воды (либо радикала HO· для соединения VIв). Кроме того, в случае бензоилнитроиндолов VIIб,г реализуется отщепление атома водорода и катиона PhCO⁺.



Полученные нами и опубликованные ранее данные [3—6] позволяют сделать выводы о границах применимости реакции изомеризационной рециклизации индолизинов для синтеза индолов. Во-первых, необходимо наличие в положении 6 или 8 нитрогруппы (или заместителя, не уступающего ей в электроакцепторности). Во-вторых, метильная группа в положении 7 препятствует рециклизации 8-нитроиндолизина, но не 6-изомера. В-третьих, заместитель в положении 3 с выраженной электроакцепторностью (например, группа NO₂) препятствует рециклизации, тогда как менее акцепторные (ацильные) заместители облегчают протекание рециклизации.

Авторы выражают признательность П. А. Шарбатяну за съемку масс-спектров соединений III, IV, VI, VII.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ*

Индивидуальность полученных соединений контролировали на пластинках Silufol. УФ спектры снимали на приборах Specord M-40 и Cary-219, ИК спектры — на приборе UR-20 в вазелиновом масле. Спектры ПМР получали на приборе Tesla-467 (60 МГц), внутренний стандарт ТМС, масс-спектры — на приборе Varian MAT-212

* При участии студентов Ю. Васильева и А. Коссаковского.

($E=100$ эВ) с прямым вводом вещества, МСВР — на том же приборе (репер масс — перфторкеросин); измерения масс производили вручную.

Диэтиловый эфир (5-нитропиридил-2)метилмалоновой кислоты ($C_{13}H_{16}N_2O_6$). Натрийметилмалоновый эфир, полученный растворением 0,78 г (34 ммоль) натрия и 5,6 г (34 ммоль) метилмалонового эфира в 70 мл абсолютного эфира с последующим упариванием последнего, и 4,7 г (33 ммоль) 5-нитро-2-хлорпиридина перемешивают в 40 мл свежеперегнанного ДМФА 1 ч при 70 °С. После отгонки растворителя под вакуумом остаток растворяют в 300 мл холодной воды, экстрагируют хлороформом (3×200 мл), после высушивания Na_2SO_4 растворитель отгоняют. Полученное красное масло хроматографируют на колонке длиной 50 см (SiO_2 ; $CHCl_3$); после перегонки получают 5,25 г (50%) нитропиридилметилмалонового эфира, $T_{кип}$ 180 °С (20...22 мм рт. ст.). Спектр ПМР (без растворителя): 9,25 (1H, д, 6-H, $^4J=2,5$ Гц); 8,46 (1H, д, д, 4-H, $^3J=8$; $^4J=2,5$ Гц); 7,75 (1H, д, 3-H, $^3J=8$ Гц); 4,25 (4H, к, CH_2 , $^3J=7$ Гц); 1,90 (3H, с, CH_3-C); 1,25 м. д. (6H, т, CH_2 в ОЕт, $^3J=7$ Гц).

5-Нитропиридил-2-малоновый эфир получают аналогично из 34 ммоль натриймалонового эфира и 2,3 г (15 ммоль) 5-нитро-2-хлорпиридина с выходом 4,0 г (97%), $T_{пл}$ 97 °С (спирт; по данным [15], $T_{пл}$ 97...99 °С). Из эфира по методике [8] синтезируют нитроиндолизин Iг.

5-Нитро-2-этилпиридин ($C_7H_8N_2O_2$). Кипятят 4,0 г (13 ммоль) нитропиридилметилмалонового эфира в 20 мл 18% HCl в течение 4 ч. После охлаждения нейтрализуют содой до pH 7 и экстрагируют эфиром (2×200 мл); экстракт сушат над $CaCl_2$ и упаривают. Эфир отгоняют, после перегонки остатка получают 1,2 г (60%) этилнитропиридина, $T_{кип}$ 123...130 °С (16...22 мм рт. ст.). Спектр ПМР (в CCl_4): 9,30 (1H, д, 6-H, $^4J=2,5$ Гц); 8,45 (1H, д, д, 4-H, $^3J=8$, $^4J=2,5$ Гц); 7,40 (1H, д, 3-H, $^3J=8$ Гц); 2,93 (2H, к, CH_2 , $^3J=7,5$ Гц); 1,30 м. д. (3H, т, CH_3 , $^3J=7,5$ Гц).

1,2-Диметил-6-нитроиндолизин (Iа, $C_{10}H_{10}N_2O_2$). Кипятят 3,0 г (20 ммоль) этилнитропиридина и 4 мл (40 ммоль) бромацетона в 20 мл ацетонитрила 20 ч. После охлаждения реакционную смесь упаривают досуха, остаток обрабатывают при нагревании 50 мл 0,1 н. HCl в 50% этаноле. Полученный раствор экстрагируют хлороформом (2×100 мл) для удаления примесей; водно-спиртовой слой отделяют и обрабатывают при кипячении избытком $NaHCO_3$ в течение 30 мин. После охлаждения раствор экстрагируют хлороформом (3×200 мл); экстракт сушат Na_2SO_4 и упаривают. После хроматографирования на колонке длиной 50 см (SiO_2 ; гексан—эфир, 4:1) выделяют темно-красные кристаллы нитроиндолизина Iа, $T_{пл}$ 132...135 °С (гексан); выход 0,28 г (7,3%). При проведении реакции в метилэтилкетоне выход Iа составляет 1,3%.

2,7-Диметил-3-ацетил-6-нитроиндолизин (IIIв, $C_{11}H_{10}N_2O_3$). Смесь 0,125 г (0,66 ммоль) нитроиндолизина Iв, 6 мл (63 ммоль) уксусного ангидрида и 2 мл пиридина кипятят в 20 мл бензола 20 ч. После упаривания растворителя в вакууме остаток хроматографируют на пластинке Silufol в бензоле. Получают 115 мг (70%) оранжевого порошка IIIв.

Нитроиндолизин (IIIг, $C_{12}H_{12}N_2O_3$) в виде кирпично-красных игл получают аналогично из 0,18 г индолизина Iг; выход 56%.

2-Метил-3-бензоил-6-нитроиндолизин (IVб, $C_{16}H_{12}N_2O_3$). Смесь 0,176 г (1 ммоль) нитроиндолизина Iб, 1,2 мл (10 ммоль) бензоилхлорида и 1,4 мл триветилamina выдерживают 3 сут при 20 °С в 10 мл бензола. Растворитель упаривают, остаток обрабатывают 10 мл 5 н. KOH в 50% водном спирте и экстрагируют бензолом (2×100 мл). После упаривания хроматографируют гексаном, затем бензолом на колонке длиной 50 см, заполненной SiO_2 . Из первой фракции выделяют 0,12 г (68%) исходного Iб; из второй — 75 мл желто-оранжевых игл индолизина IVб. Аналогично из 0,108 г (0,61 ммоль) нитроиндолизина Iг после 1 ч кипячения с $PhCOCl$ и Et_3N в бензоле и хроматографирования получают 19 мг (17%) исходного Iг и 0,88 г бензоилнитроиндолизина IVг, ярко-оранжевые кристаллы.

3,6-Диметил-5-нитроиндол (V, $C_{10}H_{10}N_2O_2$). Смесь 0,12 г (0,63 ммоль) нитроиндолизина Iв и 2,2 г KOH в 50 мл 90% водного спирта кипятят в токе аргона 3 ч. Реакционную смесь выливают на 30 г льда, нейтрализуют разбавленной HCl до pH 7 и экстрагируют хлороформом (3×50 мл). Экстракт сушат Na_2SO_4 и упаривают; остаток хроматографируют на пластинке Silpearl в бензоле. Выделяют 0,38 г (31%) желтого порошка нитроиндола V, R_f 0,35, $T_{пл}$ 146 °С (бензол). ИК спектр: 3480, 3220 cm^{-1} .

Взаимодействие 2,7-диметил-8-нитроиндолизина со щелочью. Обрабатывают 57 мг (0,3 ммоль) нитроиндолизина Iд раствором 5,6 г КОН в 20 мл 80% этанола. Раствор осторожно нагревают в токе аргона до 60 °С; реакционная смесь заметно темнеет и осмолется. По данным ТСХ, уже через 30 мин в реакционной смеси отсутствует исходный Iд, соединения индольного ряда также не обнаруживаются. После обычной обработки (см. предыдущий опыт) в органическом экстракте не обнаруживаются индолы и индолизины.

Взаимодействие 1,2-диметил-6-нитроиндолизина со щелочью. Смесь 0,19 г (1 ммоль) индолизина Ia и 5,6 г КОН в 50 мл 80% этанола кипятят 3 ч. После охлаждения раствор выливают на 30 г льда и нейтрализуют разбавленной HCl до pH 7; выпавший осадок отфильтровывают. После хроматографирования на колонке длиной 50 см, заполненной SiO₂, бензолом регенерируют 0,12 г (65%) исходного Ia.

Аналогично кипятят 16 мг (0,07 ммоль) 2-метил-1,6-динитроиндолизина с 5 мл 5 н. КОН в 50% этаноле 3 ч. Темно-вишневая окраска раствора не изменяется. После обычной обработки (см. выше) регенерируют 12 мг (75%) исходного динитроиндолизина.

2-Ацетил-3-метил-7-нитроиндол (VIг, C₁₁H₁₀N₂O₃). Нагревают 0,09 г (0,04 ммоль) ацетилнитроиндолизина IIIг в 15 мл 3 н. КОН в 80% этаноле в течение 10 мин на кипящей водяной бане. После охлаждения реакционную смесь нейтрализуют уксусной кислотой до pH 7 и экстрагируют бензолом (3×50 мл). Экстракт упаривают, остаток хроматографируют на пластинке Silpearl в хлороформе. Выделяют 0,08 г (90%) ацетилнитроиндола VIг (желтые кристаллы).

Аналогично рециклизация ацилнитроиндолизинов IIIв, IV6г (исходные количества — 0,25 ммоль) приводит к изомерным им ацилнитроиндолам VIв, VII6г (желтый порошок).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобровский С. И., Лушиков Д. Е., Бундель Ю. Г. // ХГС. — 1989. — № 12. — С. 1634.
2. Сагитуллин Р. С., Кост А. Н. // ЖОрХ. — 1980. — Т. 16. — С. 658.
3. Кост А. Н., Сагитуллин Р. С., Громов С. П. // ДАН. — 1976. — Т. 230. — С. 1106.
4. Бобровский С. И., Бабаев Е. В., Громов С. П., Пасешниченко К. А., Бундель Ю. Г. // ХГС. — 1987. — № 2. — С. 209.
5. Бобровский С. И., Бабаев Е. В., Васильев Ю. О., Бундель Ю. Г. // Вестн. МГУ, сер. 2. Химия. — 1987. — Т. 28. — С. 82.
6. Бобровский С. И., Бабаев Е. В., Бундель Ю. Г. // Вестн. МГУ, сер. 2. Химия. — 1989. — Т. 30. — С. 389.
7. Бобровский С. И., Бабаев Е. В., Бундель Ю. Г. // ХГС. — 1987. — № 2. — С. 203.
8. Кост А. Н., Сагитуллин Р. С., Громов С. П. // ХГС. — 1976. — № 7. — С. 992.
9. Прокопов А. А., Яхонтов Л. Н. // ХГС. — 1977. — № 11. — С. 1531.
10. Хмельницкий Р. А., Терентьев П. Б. // Усп. химии. — 1979. — № 5. — С. 854.
11. Бобровский С. И., Бабаев Е. В., Бундель Ю. Г. // Вестн. МГУ, сер. 2. Химия. — 1985. — № 2. — С. 227.
12. Бобровский С. И., Бабаев Е. В., Бундель Ю. Г. // ЖОрХ. — 1987. — Т. 23. — С. 2240.
13. Гринев А. Н., Кричевский Э. С., Романова О. Б., Ермаков А. И., Соколов И. К., Машковский М. Д. // Хим.-фарм. журн. — 1983. — № 11. — С. 1300.
14. Гринев А. Н., Шведов В. И., Кричевский Э. С., Романова О. Б., Алтухова Л. Б., Курило Г. Н., Андреева Н. И., Головина С. М., Машковский М. Д. // Хим.-фарм. журн. — 1984. — № 2. — С. 159.
15. Gruber W., Schlogel K. // Monatsh. Chem. — 1950. — Bd 81. — S. 473.