

## Лекция 26. Алкалоиды.

Продолжает наш курс лекция, посвящённая **алкалоидам**. Нужно сказать, что это название переводится как «*похожий на щёлочь*». Это органические вещества, которые были *открыты в Новое время*. А в период *алхимии* считалось, что органические вещества не могут иметь щелочную природу. Этим очень впечатлился *Александр Дюма*, и в романе «Граф Монте-Кристо» описывается, как героиню пытаются отравить одним из алкалоидов, а доктор применяет фиалковый сироп для индикации этого яда в лимонаде. Растения действительно стремятся защититься с помощью алкалоидов (в основном, цветковые растения). С появлением цветковых на Земле появились также довольно высокоорганизованные существа (такие, как млекопитающие и насекомые). Поэтому требовался яд, действующий в очень *экономных концентрациях*. Многие алкалоиды *действуют на определённые нервные окончания и расстраивают работу в первую очередь регуляторных систем*.

Алкалоиды синтезируются по-разному, и в зависимости от строения и пути биосинтеза они делятся на три больших группы:

1. **Протоалкалоиды** (азот не входит в состав гетероцикла, а расположен на боковых радикалах)
2. **Истинные алкалоиды** (азот входит изначально в состав молекулы)
3. **Псевдоалкалоиды** (азот входит в состав гетероциклов, тем не менее, он включается на последних этапах биосинтеза)

Алкалоиды издавна используются человеком в самых разнообразных целях. По легенде, *Сократ* погиб, выпив чашу с ядом. У *Платона* достаточно подробно описаны его симптомы. Считалось, что *Аттика* – земля, богатая тремя вещами: *оливами, крепким ядом и сильными мужчинами*.

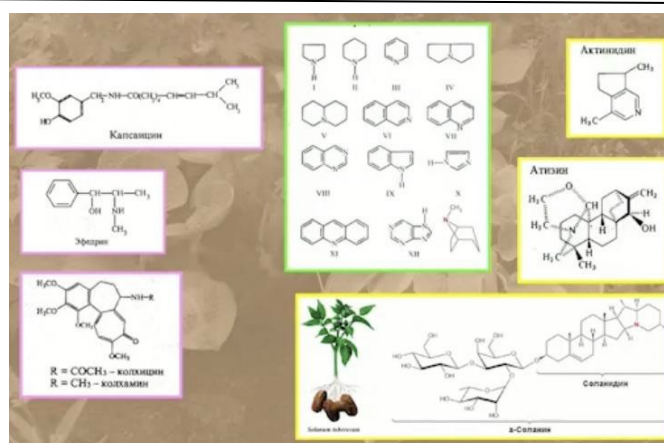


Рисунок 26.1. Классификация алкалоидов

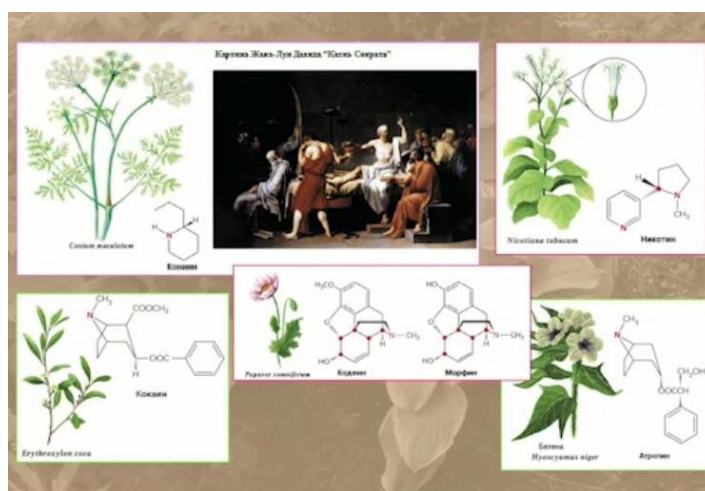


Рисунок 26.2. Алкалоиды – азотосодержащие «растительные яды»

Была даже должность полисного отравителя, который составлял рецепты для быстрого умерщвления. Отдельные растения добывались с особой осторожностью при соблюдении тайны. По симптомам отравления Сократа можно судить, что он, скорее всего, отравился *болиголовом* (с алкалоидом **кониин**ом). Нужно сказать, что в Древней Греции болиголов, как и другие растения, применялся в качестве *обезболивающего*: пациент вдыхал его *пары*, впадая в забытье. Наверное, более мощные *анестезирующие средства* – это **кокаин** и алкалоиды **морфинового** ряда. В литературе 19-го века морфий был одним из распространённых агентов обезболивания (с сильными побочными эффектами). Есть также *табак* (с **никотином**) и *белена*. Биохимия разных семейств отличается, и возможно *присутствие разных алкалоидов в составе одного семейства*. В то же время, иногда *один и тот же алкалоид встречается в разных группах растений*.

Алкалоиды бывают не только ядами, но и могут обладать лекарственным эффектом (в низких дозах). Например, **винбластин** – алкалоид, обладающий *противоопухолевой* активностью. Если его добавлять слишком много, то

останавливается клеточное деление. В низких же дозах это помогает в химиотерапии. Не менее знаменит **хинин** – как средство для борьбы с *малярией*. Впервые европейцы познакомились с этим растением в Южной Америке, когда заболела дочь губернатора, которую звали Цинхона. Малярия лечилась плохо, но местные индейцы добыли отвар из коры тропического дерева, который поставил девушку на ноги. Соответственно, в честь её имени растение получила название *цинхона лекарственная* (из её коры было выделено жутко горькое вещества хинина). Хинин используется в качестве горечи в пищевой промышленности. Часто можно увидеть его в составе *тоники*. Хинин обладает жаропонижающим и тонизирующим действием, но в напитки он входит в незначительных количествах. И, наконец, **аймалин** способствует *понижению давления*.

## Протоалкалоиды

Обзор алкалоидов можно начать с **протоалкалоидов**. Один из самых знаменитых из них – колхицин. Он *останавливает клеточное деление и не даёт образоваться микротрубочкам*, поэтому часто используется в науке для того, чтобы лучше рассмотреть веретено деления, подсчитать хромосомы, изучить активность цитоскелета. В медицине колхицин задействуется при лечении некоторых раковых заболеваний. Само название происходит от растения «колхикум», широко распространённого в Средиземноморье, переходя в Среднюю Азию. Впервые греки познакомились с колхикумом, когда аргонавты приплыли за руном: «*ядовитый крокус царицы Медеи*». Действительно, растение похоже на крокус, только у него шесть тычинок, и клубнелуковица накапливает яд. **Безвременником** его называли потому, что большинство видов *цветёт осенью в безлистном состоянии, а уже весной происходит плодоношение*.

Ещё в Древние времена греки вывезли безвременники с территории Колхиды, поэтому существует множество вторичных мест его обитания. Любопытно, что в Европе растёт безвременник осенний растёт на лугах, и иногда его семена попадают в сено. Недавно он был обнаружен в *Тверской области*, где во время Великой Отечественной войны базировались немецкие полки. Сейчас колхикум – растение, широко задействованное в *декоративной культуре*. Что касается химического состава, нужно сказать про азот, который входит в состав бокового радикала, а циклическая часть молекулы представлена углеродным скелетом (Рис. 26.3.).

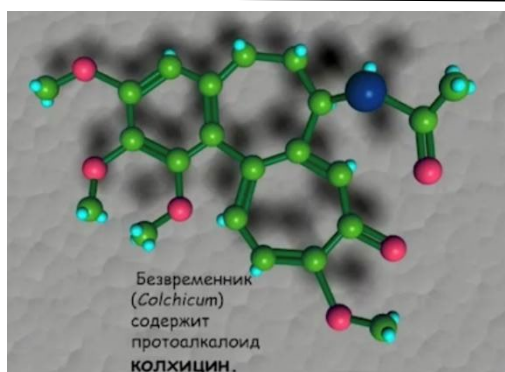


Рисунок 26.3. Колхицин

К протоалкалоидам (а может, и к псевдоалкалоидам) нужно отнести **капсаицин**. Он добывается из *острого красного перца*, и выделяемое горькое вещество оказывается важным продуктом, позволяющим использовать его как пряность. Если посмотреть на биосинтез, то, с одной стороны, синтезируется *боковая разветвлённая жирная кислота*, а с другой стороны, идёт *синтез ароматического ядра*. И на последних этапах в состав внедряется *азот*. Нужно отметить, что это вещество *хорошо растворимо в липофильной фракции* (жиры, эфиры), но плохо растворимо в воде. Капсаицин действует на болевые рецепторы, и в небольшом количестве вызывает некоторое жжение. Однако, горький перец горек не для всех. Например, *птичьи рецепторы устроены иначе*, и с ним капсаицин не связывается. Птицы, поедая такой перец, ощущают примерно то же, что человек чувствует, когда ест сладкий перец. *Сладкий перец* – сорт красного перца, у которого *повреждён биосинтез капсаицина*.

В принципе, перец давно используется местным населением тропической Америки. В *Мексике* в супермаркете есть специальная полка, отведённая под разные виды перцев: *анчо, арболь, ямайский перец, абонеро* и так далее. Для того, чтобы сравнить горечь разных видов перца, в своё время врач *Сковел* придумал линейку с людьми, которые тестируют растворы с разной крепостью. Когда уже половина тестеров не различает горький вкус – это считается за *нулевую степень разбавления*. У хороших сортов острого перца счёт идёт на *тысячи единиц Сковела*. Перец используется не только в кулинарии, но и в газовых баллончиках. А кроме того, выпускается так называемый «медвежий спрей», выдающий струю аэрозоля, которая позволяет защититься от хищника. Европейцы познакомились с острым перцем во время похода Кортеса. Ацтеки послали мальчишек с маленькими жаровнями, которые расставили вокруг дороги жаровни и насыпали туда перца. Произошла возгонка капсаицина, и войско Кортеса оказалось окутанным едким дымом.

Нужно сказать, что реакция красного перца на организм состоит из двух фаз: первая – *острое действие на болевые рецепторы*, вторая – *активное выделение эндорфинов* («лёгкая эйфория» для заглушения болевого ощущения). Таким образом,

капсаицин используется растениями для защиты от поедания (но не от всех, а, в основном, от млекопитающих). Экстракт красного перца задействуется, в частности, для того, чтобы *обезопасить комбикорм от поедания крысами*. Если вспомнить о каротиноидах, то нужно сказать, что они также содержатся в этом экстракте, и, проникая в яйцо, они придают ему краску. Кстати, для снижения горечи бесполезна вода (капсаицин не является растворимым в воде), поэтому используется молоко или другая жировая эмульсия. Перец может действовать даже сквозь кожу, что позволяет использовать его в разнообразных *согревающих средствах* (таких, как перцовый пластырь, мазь и так далее). На насекомых настой перца действует достаточно сильно, поэтому есть народная мудрость: использовать его для протравки вредителей.

В народе существует суеверие о том, что *острый перец уничтожает микробов*. Нужно сказать, что он действует именно на болевые рецепторы (которые не слишком взаимодействуют с микробами), и даже самым открытием бактерий и микроскопических мы обязаны красному перцу. *А. Левенгук*, который открыл микромир, решил исследовать, почему красный перец острый. Он решил размочить кусочек перца в воде, а потом отщипнул кусочек. Оказалось, что *в настое перца очень хорошо размножаются микроорганизмы*.

## Истинные алкалоиды

К тому же семейству, что и горький перец, относятся представители рода *табаков*. Многие его представители содержат довольно *низкие концентрации алкалоидов*. Однако, если мы возьмём *махорку* или *табак* (*nicotiana tabacum*), то обнаружим *высокое содержание никотина*. Никотин можно сравнить с другими ядами, в частности, с **цианистым калием** (при этом никотин почти в 6 раз токсичнее). Это связано с тем, что никотин действует на нервную систему, что имеет специфические эффекты. В печени при этом начинается распад гликогена, повышается содержание глюкозы. Поэтому курильщики с помощью сигарет как бы «утоляют» чувство голода.

Исходно табак нюхали в качестве тонизирующего и лекарственного средства. Сейчас *табачная промышленность производит огромное количество листьев, содержащих алкалоиды*. Но если рассмотреть растение в целом, то окажется, что синтез начинается в корнях. И уже из корней алкалоид никотин поднимается в листья. В *стрессовых условиях его содержание повышается*, и описан опыт, когда растение выдёргивается целиком, и корень надсекается. В этих условиях вырабатывается больше никотина, и в таком состоянии махорка подвяливается. В промышленном производстве *листья табака собирают на плантациях, сушат и упаковываются в сигареты*, и так далее. Нужно также сказать, что никотин содержится и в растениях, не родственных табаку. Например, есть *очиток белый*, едкость вкуса которого как раз обусловлена содержанием накопленного никотина. Никотин достаточно плохо сказывается на насекомых, поэтому табачная пыль или настой табака используется для защиты урожая.

Для усиления эффекта молекулу никотина пришлось модифицировать. Были созданы так называемые **неоникотиноиды**, которые достаточно *долго могут существовать внутри растения* (месяц и дольше). Их можно добавлять в почву, что особенно важно для *комнатных культур* (когда обработка спреем не желательна). В последние несколько лет неоникотиноиды послужили основой для болезни пчёл. Оказалось, что это связано с посевами рапса. Это культура, подверженная атаке многих вредителей. Поэтому семена рапса начали оборачиваются в защитную *оболочку, в состав которой входят неоникотиноиды*, а также питательные вещества. Дело в том, что при созревании в ночной период *растения выделяют* так называемую **гидационную влагу**, появляющуюся на листьях. *Пчёлы собирают эту влагу* для обеспечения водой, что неблагоприятно сказывается на здоровье пчёл. С другой стороны, есть ряд видов семейства паслёновых, которые не содержат никотин. Это разные сорта *петуний, декоративные табаки* и другие растения.

Не менее известны также алкалоиды тропанового ряда: **атропин** (Рис. 26.4.), **скополамин**, **гиосциамин**. Их названия происходят от латинских обозначений соответствующих растений. Они происходят из **L-орнитина** и широко содержатся в паслёновых растениях. Это могут быть *оптические изомеры*, но характерным элементом являются *конденсированные кольца*, в состав одного из которых входит *азот*. **Гиосциамин** был впервые добыт из *белены*, и не случайна поговорка «белены объелся». Дело в том, что при созревании этого двулетнего растения коробочки напоминают коробочки мака. Наевшись этих семян, человек входит в *изменённое состояние* (эйфория, расширенные зрачки). **Скополамин** назван в честь *скополии корниолийской* (распространённой на Кавказе). Также алкалоиды тропанового ряда содержит *дурман обыкновенный*, однако, есть и менее токсичные его варианты.

Алкалоиды тропанового ряда использовались в медицине, а также в качестве средства привлечения. Например, атропин входит в состав *белладонны*, ягоды которой достаточно тёмные. Капля сока этого растения вызывает *расширение радужки глаз* (а зрачки становятся чёрными), и красавицы пользовались этим средством для создания «*магнетического выражения лица*». Этот же принцип используется в японской графике *аниме*. Незнание флоры, кстати, дорого обошлось *Наполеону*, когда его полки вторглись в Италию. Когда солдаты увидели заросли белладонны, целый полк отравился насмерть её ягодами.

Истинные алкалоиды содержатся и в *нарциссах*. Название их происходит от греческого «наркос» - *оцепенение* (в связи с приятным запахом). Нарциссы содержат для защиты алкалоид **галантамин** (бензилизо-хинолиновый ряд). В целом семейство *амариллисовых* достаточно богато алкалоидами: **ликорином**, **гемантамином** и другими соединениями.

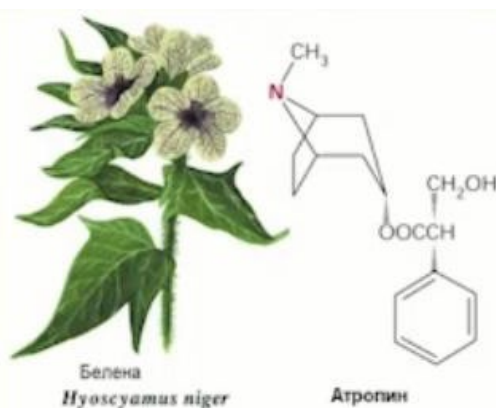


Рисунок 26.4. Атропин

Наверное, одни из самых знаменитых – *алкалоиды морфинового ряда* в семействе *маковых*. Максимальное количество накапливается в стенках недозрелых коробочек (в млечном соке) в *маке снотворном*. Одни из алкалоидов обладают *действием на центральную нервную систему*, а другие действуют больше на *гладкую мускулатуру*. Если мы посмотрим на *декоративные* или *низкоопиатные сорта мака*, то там содержание алкалоидов будет значительно ниже. Другие маковые накапливают также *сангвинарин* и другие вещества. С другой стороны, алкалоиды морфинового ряда иногда могут присутствовать в некоторых сортах хмеля. Если хмель содержит такие структуры, то такое пиво может вызывать привыкание.

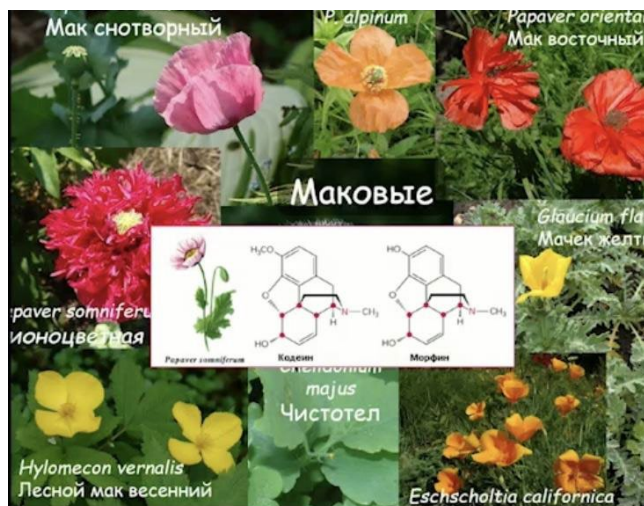


Рисунок 26.5. Алкалоиды морфинового ряда

## Псевдоалкалоиды

Наконец, к псевдоалкалоидам относится знаменитый **соланин**, который накапливается в *картофеле*. Известно, что при внедрении культуры картофеля в России, крестьяне сначала пытались употреблять *плоды* (в которых содержание соланина было

большим) и отравлялись. Если мы посмотрим на *клубни*, то накопление соланина происходит в основном в кожуре. Соланин состоит из двух фрагментов: соланидин (агликон, который имеет *терпеновую природу*, и *азот*, который вставляется уже на последних этапах синтеза) и заместители углеводного типа (которые придают растворимость в воде). Замечено, что соланин оказывает большее токсическое действие на народы крайнего Севера (отсутствует фермент, обезвреживающий соланин).

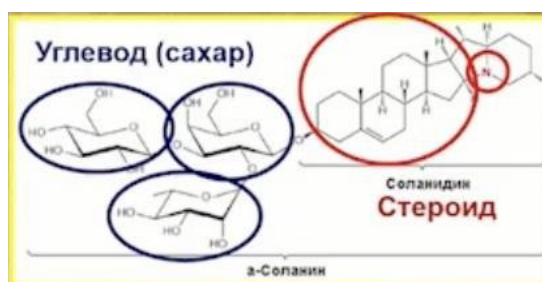


Рисунок 26.6. Соланин

Близкий по структуре псевдоалкалоид **томатин** содержится в недозрелых *томатах* и ботве. Он используется для защиты от насекомых. В частности, отвар из ботвы томатов используется в качестве *средства для борьбы с вредителями*. Псевдоалкалоиды можно найти также и в семействе *лютиковых*. Наиболее ядовитый представитель – *аконит* (несколько разных видов). Все акониты накапливают алкалоиды **аконитин** и **атизин**, которые могут *проникать через кожу и вызывать зуд*. Примечательно, что аконит используется местными жителями Камчатки для изготовления *яда для охоты* на млекопитающих.

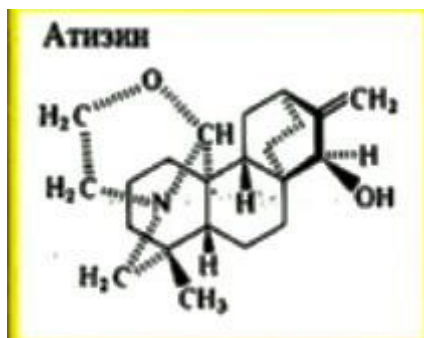


Рисунок 26.7. Атизин

Нужно сказать, что максимальное количество алкалоидов накапливается в клубнях аконита в осеннее время. Уровень держится в течение зимы и начала весны, а дальше содержание падает. Аконитин пытались использовать для разработки *боевых отравляющих веществ*. Если аконитин попадает *с пищей, водой или на кожу*, проявляются такие симптомы, как слюнотечение, рвота, понос, слабость, озноб, нарушение сердечного ритма, зуд, паралич.

## Кофеин

Мир алкалоидов достаточно обширен, и мы бегло познакомились с основными группами этих соединений. Но если посмотреть, какой из алкалоидов человечество потребляет в наибольшем количестве, то окажется, что это **кофеин** – самый главный алкалоид, ради которого выращивают целый ряд растений. Нужно сказать, что действующее вещество, придающее кофе, чаю и другим напиткам тонизирующий эффект, пытались произвести ещё в 19-м веке. *Ф. Рюнге* выделил кофеин из кофе в 1819 году. Параллельно с ним другие исследователи рассматривали состав чая, выделив **теин**. А те, кто изучал *гуарану*, получили **гуаранин**. В дальнейшем оказалось, что все эти вещества содержат одно и то же.



Рисунок 26.8. Кофеин: теин, матеин, гуаранин

**Кофеин** – это вещество, к которому относятся крайне разным образом. Кто-то утверждает, что его употребление вредно. Это мнение было довольно широко распространено, поэтому сейчас есть *напитки, в которых содержание кофеина намеренно снижено*. В чём же заключается суть процесса **декофеинизации**? Кофеин растворим в углекислоте, когда она находится в *тройной точке* (то ли газ, то ли жидкость). Дальше её переводят в жидкий вид, сливают, и, упаривая, получают кофеин. При этом можно даже не нарушать заводскую упаковку. С другой стороны, кофеин *специально добавляют в различные тонизирующие напитки*. Чай оказывается одним из чемпионов по содержанию кофеина (до 400 мг/л после 5 минут заваривания). Однако, спасает то, что в чае кофеин высвобождается не так быстро (как в случае кофе). Чёрный шоколад может содержать до 900 мг/кг кофеина.

В Новое время были широко распространены слухи о том, что кофеин вызывает привыкание. Тогда в 1788 году шведский медик *Густавсон* начал интересный эксперимент. Заключение, приговорённому к пожизненному сроку, *ежедневно давали по три чашки натурального кофе*. Несмотря на суровый тюремный режим, заключённые, систематически употреблявшие кофе, *прожили до 70-80 лет*. Сам же

экспериментатор прожил 62 года, хотя воздерживался от кофе и пребывал в более комфортных условиях. Одним из поклонников кофе был *О. де Бальзак*, который не мог писать тексты, если не пил кофе в больших количествах.

Кофеин родственен азотистым основаниям ДНК и РНК, и его биосинтез начинается с гликозида (**ксантозина**), в составе которого присутствует **рибоза**. Далее происходит метилирование, высвобождение от остатка рибозы, и молекула может модифицироваться в кофеин.

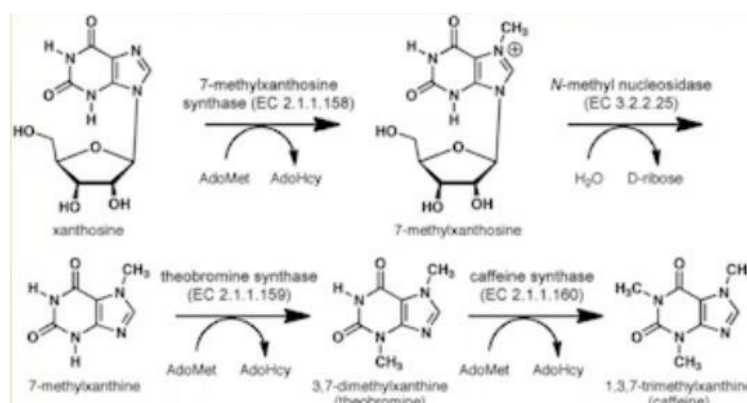


Рисунок 26.9. Биосинтез кофеина

Если посмотреть на самые распространённые в мире напитки, то первые места занимают соответственно **чай, кофе, матэ, какао и шоколад, кола** (и другие напитки), **каркадэ** и **травяные чаи**. Все напитки, кроме последних двух, содержат кофеин. Если посмотреть на историю кофе, то по легенде оно было найдено в месте под названием *Кафиристан* в Эфиопии. Считалось, что племена, живущие на этой территории, более сильные и выносливые (потому что употребляли плоды кофе). По легенде один из пастухов увидел, что его козы объели растение кофе и стали возбуждённо скакать. Он сам попробовал кофейные ягоды, испытал прилив сил, и впоследствии кофе стали употреблять его сородичи.

Видов кофе достаточно много. Один из них – *аравийский кофе*, который возник в *Эфиопии*. В дальнейшем он перебрался на другую сторону пролива Красного моря и обосновался в *Аравии*. Из этого же **Абиссинского центра** происходят и другие растения. В частности, *орехи кола* и *арбуз*, а также *кунжут* и другие более специфичные растения. Культура кофе в *Йемене* начинается с 6 века, и по мере окультуривания человек старался *смягчить вкус, сделать его более тонким и изысканным* (при этом падало содержание кофеина). Это кофе – более *прохладолюбивая культура*, привыкшая к *горной местности* с определённым климатом. Одна из знаменитых форм аравийского кофе – **мокко**. Это группа сортов, растущих вокруг портового города Мокко. Это *торговый город*, откуда кофе отправляли в Средиземноморье. Арабские шейхи считали кофе очень *ценным подарком*. Хотя они боялись потерять монополию на производство кофе, поэтому

экспортируемые партии кофе слегка прожаривались (чтобы убить зародыши зёрен). В конце концов, эта традиция укоренилась, и мы не представляем кофе в ином виде, кроме как в жареном виде.

Нужно сказать, что и другие страны хотели обзавестись кофе. В частности, французы предпринимали экспедиции в леса Конго с целью найти другие виды кофе. Там был обнаружен вид **робуста**, который может выдерживать условия сильной жары и влажности. Поскольку окультуривание произошло только в начале 20-го века, то содержание кофеина в нём выше, а вкус грубее, чем у арабики. Кроме того, для мировой культуры оказалось важно, что это вид, приближенный к природе и менее восприимчив к болезням и вредителям. В 19-м веке в западной Африке, в Либерии был найден либерийский кофе. Это вид, который редко выращивается в культуре. Наконец, уже в конце 20-го века оказалось, что Мадагаскар является terra incognita в плане кофе. Специально были отправлена экспедиция, участникам которых удалось проникнуть в леса во время дождя. В результате были открыты необычные виды кофе: **coffea pterocarpa** (семя которого вместо привычной ягоды укрыто околоплодником из многочисленных выростов), **coffea ambongensis** и другие виды кофе (около 125 видов).

Если мы посмотрим на нынешнее производство кофе, то увидим, что кофе робуста производится преимущественно в экваториальных странах (с равномерным увлажнением), арабика – в более горных районах (с климатом сухого уклада), а в странах со смешанными условиями выращивают оба вида кофе. Нужно сказать, что рынок кофе – второй по капитализации после рынка нефти. 20 миллионов фермерских хозяйств насчитывают 100 миллионов работников в 50 странах мира. Самая знаменитая страна по производству кофе, Бразилия, производит около 50% мирового запаса кофе. На втором месте находится Вьетнам (около 22% рынка), далее следуют Индонезия, Колумбия, Эфиопия, и другие страны.

Но одно дело – производство кофе, а другое – его потребление. Здесь ситуация несколько иная. Правда Южная Америка является также лидером по потреблению кофе. Россия входит скорее в чайную зону, поэтому среднее потребление кофе – сравнительно небольшое. Кофе очень популярен в Китае, Индии и других странах. Уровень потребления кофе гораздо выше, чем у чая (в связи с тем, что для приготовления чашки кофе идёт больше массы вещества, чем для приготовления чашки чая). В частности, в Финляндии потребление кофе на душу населения составляет 12 кг в год, в Норвегии – 9,6 кг в год, в Дании – 8,9 кг в год, а в России – 1,7 кг в год.

Про дерево кофе можно сказать, что оно обладает удивительным ростом. Есть центральный проводник – главный побег, который всегда растёт вверх. После его удаления просыпаются боковые спящие почки, и вертикальный рост возобновляется. Кроме того, есть множество горизонтальных побегов, которые растут в течение всей

жизни кофейного дерева. При черенковании сохраняется горизонтальное направление роста.

## Процесс производства кофе

Плоды кофе – это *ягоды* (чаще всего двусемянные). Семена лежат плотно друг к другу, и в месте контакта образуется плоская поверхность, вдавленная посередине. В некоторых случаях образуется одно семя (так называемый «жемчужный кофе»). На растении кофе одновременно могут находиться *плоды в разной степени созревания*, а также цветки. *Процесс созревания затянута*, что не позволяет организовать механизированную уборку урожая. Сбор кофейных зёрен всегда выборочный и потому осуществляется вручную. После сбора необходимо *удалить околоплодник* (мякоть, мешающую производству кофе). Это делается либо 1) *механически* (с помощью аппарата, который выдёргивает мякоть, и далее осуществляется промывка), либо 2) в ходе *брожения* (ягоды мнут, и в процессе размягчения достаточно просто отмыть водой сброженную часть плода), либо же 3) *при помощи диких хищников* (которые перерабатывают ягоды и выводят зёрна в виде отходов, которые промываются и используются – особо ценный способ производства). В данное время количества *цивиетт* для производства этого кофе не хватает, и разрабатывается схожая технология, задействующая *слонов*.

После того, как *зёрна* отделены от околоплодника, их необходимо *промыть* и *просушить*. А далее осуществляется *прожаривание* и (в некоторых случаях) *перемалывание зёрен*. Старинный способ приготовления в Йемене подразумевает *толчение в каменной ступке* и *просеивание через сито*. Фасовка бывает разной, в зависимости от формы готового продукта.

И, наконец, употребление кофе варьируется в разных странах. Пожалуй, самый большой спектр способов приготовления кофе изобретён в *Италии*. *Эспрессо* – очень *быстрый крепкий кофе в небольшом количестве*. Американо подразумевает доливание воды. В качестве допинга может использоваться *молоко на пару, шоколад* и *молочная пена* в разных пропорциях, что даёт дополнительную сетку способов (Рис. 26.10.). Нужно сказать, что питьё кофе – это привычка, которой следуют многие люди. В Италии в связи с этим принято вместо чаевых оставлять «*подвешенный кофе*» (и человек без гроша в кармане может выпить в кофейне бесплатный кофе).



Рисунок 26.10. Основные способы заваривания кофе

Ещё раз скажем, что основное действующее вещество в кофе – это **кофеин**. Но тем не менее, биохимическое разнообразие кофе им не исчерпывается. В частности, аромат кофе возникает при прожаривании **хлорогеновой кислоты** (она частично разрушается, с возникновением оксигоречных кислот – Рис. 26.11.). Кроме того, в кофе может встречаться алкалоид **норгарман** (который может использоваться в лекарственной сфере).

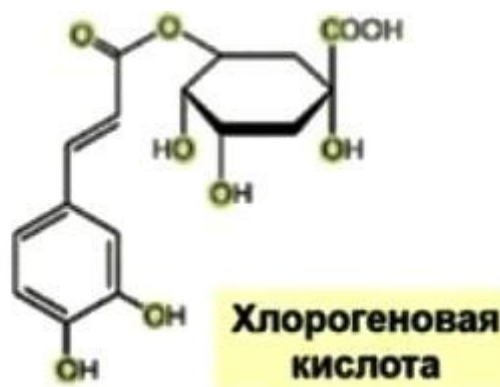


Рисунок 26.11. Хлорогеновая кислота

Кофе выращивается преимущественно в тропических странах, и когда торговля замирает, нужно чем-то заменять кофе. В Европе (когда у Германии, в условиях политической конфронтации) прожаривали **ячмень** и другие части растений, в частности, **корень цикория**. Цикорий растёт в дикой природе, но его иногда выращивают на листья (для листового салата). Корень (как побочный продукт) позволяет получать *напиток, близкий по вкусу и аромату к кофе, но при этом не содержит кофеина*.