



UNODC

Управление Организации Объединенных Наций
по наркотикам и преступности



Руководство по отбору репрезентативных проб наркотиков

РУКОВОДСТВО ДЛЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ ЭКСПЕРТИЗЫ НАРКОТИКОВ

Фотографии:
Фотобiblioteca ЮНОДК

Секция лабораторного и научного обеспечения
УПРАВЛЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ
ПО НАРКОТИКАМ И ПРЕСТУПНОСТИ
Вена

Руководство по отбору репрезентативных проб наркотиков

Подготовлено в сотрудничестве с

**Рабочей группой по наркотикам
Европейской сети институтов судебной медицины**



ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ
Нью-Йорк, 2010 год

ST/NAR/38

Выражение признательности

Настоящее руководство по отбору репрезентативных проб наркотиков подготовлено Рабочей группой по наркотикам (РГ) Европейской сети институтов судебной медицины (ЕСИСМ).

Руководство является итогом обстоятельных консультаций между европейскими экспертами по наркотикам, проходивших в 2001–2003 годах.

Секция лабораторного и научного обеспечения Управления Организации Объединенных Наций по наркотикам и преступности выражает благодарность РГ ЕСИСМ по наркотикам за достигнутую в 2007 году договоренность относительно опубликования настоящего руководства без существенных изменений*, с тем чтобы с ним могла ознакомиться более широкая международная аудитория.

Список авторов первоначальной публикации ЕСИСМ приведен на странице iv.

Секция лабораторного и научного обеспечения ЮНОДК хотела бы также выразить признательность доктору Рейнауду Стулу из Нидерландского института судебной экспертизы за внесенный им вклад в работу по проверке таблиц и программного обеспечения.

*Изменения внесены в главу 1 (введение) с целью сделать ее пригодной для международного использования. Предисловие ЕСИСМ было заменено на изложенное выше выражение признательности. Таблицы и программное обеспечение были проверены и надлежащим образом скорректированы. В программное обеспечение было добавлено приложение для оценки количества таблеток. Остальная часть руководства не претерпела существенных изменений.

Список авторов

Серджо Скьявоне

(Руководитель подгруппы по отбору проб РГ ЕСИСМ по наркотикам)
Научно-исследовательская группа карабинеров,
Римское подразделение, отдел химии
Via Aurelia 511, 00165 Roma, Italia
Тел. 0039-06-66394656,
Факс 0039-06-66394748,
Адрес эл. почты: s.schiavone@tin.it

Мартин Перрен

Институт криминалистики национальной жандармерии,
Токсикологическое отделение
1, Boulevard Theophile Sueur, F-93111, Rosny Sous Bois Cedex, France
Тел. 0033-1-49355079,
Факс 0033-1-49355027,
Адрес эл. почты: tox.ircgcn@gendarmerie.defense.gouv.fr

Хью Койл

(также эксперт по вопросам макроразвития)
Научно-исследовательская лаборатория судебной экспертизы
Департамент по вопросам правосудия, равенства и правовых реформ,
штаб полиции Ирландии
Phoenix Park, Dublin 8, Ireland
Адрес эл. почты: HJCoyle@fsl.gov.ie

Хенк Хейзер

Нидерландский институт судебной экспертизы
Volmerlaan 17, 2288 GD Rijswijk, Netherlands (до 15 октября 2004 года)
Адрес эл. почты: h.huizer@nfi.minjus.nl

Аннабел Болк

Нидерландский институт судебной экспертизы
Volmerlaan 17, 2288 GD Rijswijk, Netherlands (до 15 октября 2004 года)
Адрес эл. почты: a.bolck@nfi.minjus.nl

Бруно Кардинетти

Научно-исследовательская группа карабинеров,
Римское отделение, отдел баллистики
Via Aurelia 511, 00165 Roma, Italia
Тел. 0039-06-66394668,
Факс 0039-06-66394748,
Адрес эл. почты: card.bruno@italymail.com

Содержание

	<i>Стр.</i>
1. ВВЕДЕНИЕ	1
2. ОПРЕДЕЛЕНИЯ	3
3. МЕТОДЫ ОТБОРА РЕПРЕЗЕНТАТИВНЫХ ПРОБ	7
4. СЛУЧАЙНЫЙ ОТБОР ПРОБ	9
5. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОТБОРА ПРОБ	11
6. СООБРАЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ	27
7. РАСЧЕТ ВЕСА И КОЛИЧЕСТВА ТАБЛЕТОК	35
Справочная литература	39
<i>Приложения</i>	
I. Инструкции по использованию программного обеспечения. . .	41
II. Отбор проб на национальном/региональном/лабораторном уровне	45

Сокращения

ЕСИСМ	Европейская сеть институтов судебной медицины
ЕС	Европейский союз
ОК	обеспечение качества
ТСХ	тонкослойная хроматография
РГСР	Рабочая группа по сотрудничеству с полицией
НРГН	Научная рабочая группа по наркотикам
ЮНДКР	Программа Организации Объединенных Наций по международному контролю над наркотиками
ЮНОДК	Управление Организации Объединенных Наций по наркотикам и преступности
РГ	Рабочая группа

1. Введение

В настоящем руководстве описано несколько методов отбора проб, начиная от методов случайной выборки и заканчивая статистическим обоснованием. В руководстве основное внимание уделяется отбору проб в случаях, когда имеется большое количество относительно однородного материала. В нем не рассматривается так называемое оперативно-тактическое взятие проб, которое может проводиться при обыске домов или расследованиях, связанных с деятельностью подпольных лабораторий. В таких случаях речь идет о разных материалах, иногда в разных количествах, различной упаковке и/или в некоторых случаях связаны с разными подозреваемыми; эти случаи считаются настолько специфичными и настолько зависят от конкретной ситуации (в том числе с правовой точки зрения), что любое руководство в большинстве случаев было бы бесполезным. Таким образом, в настоящем руководстве изложен ряд стратегий отбора проб в случаях, когда имеется большое количество единиц относительно однородного материала. Вместе с тем из описания методов отбора проб не явствует, какой из методов следует считать предпочтительным (или оптимальным). Это обусловлено главным образом тем, что невозможно определить стратегию отбора проб, если при этом не определены потребности. Именно поэтому было решено воздержаться от дачи каких-либо рекомендаций относительно действий на местном, региональном и национальном уровнях.

В пособии, предназначенном для широкого пользования, каким является настоящее руководство, рекомендации не могут быть такими же точными, какими они могут быть при конкретной договоренности между прокуратурой, полицией и руководством химических и других лабораторий на местном, национальном или региональном уровне.

Вместе с тем в главе 6 и в приложении II рассмотрены некоторые аспекты отбора проб в международных случаях. Здесь показаны преимущества и недостатки различных методов, в том числе в связи с процедурами взятия проб. По всей видимости, наиболее уместным во многих случаях является байесовский метод, но главный его недостаток, особенно для суда, заключается, пожалуй, в его сложности. К счастью, в случаях когда не затрагивается априорная вероятность, гипергеометрический и байесовский методы дают похожие результаты.

Поскольку отбор проб зачастую производится сотрудниками полиции и таможенных органов, в руководстве не дается рекомендаций относительно их действий, когда нужно вычислять количество проб в каждом конкретном случае; такие рекомендации ввели бы сотрудников правоохранительных

органов в заблуждение, и при этом им пришлось бы иметь дело с компьютерами или с байесовскими и гипергеометрическими таблицами. Поэтому в заключительной рекомендации относительно отбора проб упоминается лишь об отборе определенного (минимального) количества проб (5, 8 или 11, в зависимости от ситуации). Лаборатория судебной экспертизы может затем при необходимости произвести окончательную оценку и вероятностные расчеты.

Настоящее руководство призвано помочь лабораториям экспертизы наркотиков в их выборе стратегии(-й) отбора проб и оптимальных видов практики.

2. Определения

1. Изъятие

Весь объем изъятых материалов. Может состоять из одной или нескольких совокупностей.

2. Совокупность

Общее количество рассматриваемых материалов. Совокупность может быть реальной или гипотетической, конечной или бесконечной, гомогенной или гетерогенной. Для целей настоящего руководства понятие “совокупность” будет означать реальную конечную гомогенную совокупность, если только не указано иное.

3. Упаковка

Контейнер для одной единицы материала, для нескольких единиц материала или нескольких других более мелких упаковок.

4. Единица материала

Один отдельный элемент совокупности (например, одна таблетка или одна упаковка с порошком).

5. Проба

Одна или несколько единиц, отобранных из одной совокупности.

6. Среднее значение

Это среднее значение ряда измерений. Среднее значение может означать либо:

а) среднее арифметическое одной *совокупности*. Это истинное среднее значение, подсчитанное по всей совокупности. Обозначается символом μ .

b) среднее арифметическое одной *пробы*. Это расчетная величина μ , подсчитанная по одной пробе, взятой из совокупности. Обозначается символом \bar{X} .

Если не указано иное, понятие “среднее значение” будет означать среднее арифметическое одной пробы, как это определено в пункте 6 (*b*).

7. Стандартное отклонение

Это показатель разброса значений, полученных в ходе ряда измерений. Стандартное отклонение может означать:

a) стандартное отклонение значений по одной *совокупности*. Это истинное стандартное отклонение, подсчитанное по всей совокупности. Обозначается символом σ ;

b) стандартное отклонение значений по одной *пробе*. Это расчетная величина σ , подсчитанная по одной пробе, взятой из совокупности. Обозначается символом s .

Если не указано иное, понятие “стандартное отклонение” будет означать стандартное отклонение значений по одной пробе, как это определено в пункте 7 (*b*).

Условные обозначения

$P =$ вероятность

$N =$ объем совокупности

$N_1 =$ количество положительных единиц в совокупности

$n =$ объем пробы

$X =$ количество положительных единиц в пробе

$x =$ значение объема положительных единиц в пробе

$r = n - x =$ значение объема отрицательных единиц в пробе

$\theta = \frac{N_1}{N} =$ доля положительных единиц в совокупности

$K =$	пороговое количество положительных единиц, которые гарантированно присутствуют в совокупности
$k = K/N =$	доля положительных единиц, которые гарантированно присутствуют в совокупности
$\alpha =$	пороговый показатель доверительного интервала
$(1 - \alpha)100\% =$	доверительный уровень
$a =$	первый параметр бета-функции
$b =$	второй параметр бета-функции
$Y =$	количество положительных единиц в неисследованном объеме материала
$\mu =$	среднее арифметическое по совокупности
$\bar{X} =$	среднее арифметическое по пробе
$\sigma =$	стандартное отклонение значений по совокупности
$s =$	стандартное отклонение значений по пробе
$w =$	общий вес пробы
$W =$	общий расчетный вес совокупности
$P_{corr} =$	поправочный коэффициент к расчетному весу
$Q_{corr} =$	поправочный коэффициент к расчетному весу

3. Методы отбора репрезентативных проб

Метод отбора репрезентативных проб может применяться к совокупности единиц, обладающих достаточно схожими внешними признаками (например, размер, цвет). Решение о том, каким образом применять этот метод, оставляется на усмотрение лица, проводящего исследование. Однако очень важно при этом привести пример того, что именно подразумевается под схожими внешними признаками. Так, если речь идет о партии “уличных” доз героина, расфасованного в одинаковые упаковки, то можно применить один метод отбора проб из этой совокупности. В случае, если имеется 100 “уличных” доз с различными наборами внешних признаков, то эти 100 “уличных” доз следует разбить на количество групп, соответствующее количеству наблюдаемых отличий. Каждая группа будет рассматриваться как отдельная совокупность, и пробы будут отбираться отдельно из каждой совокупности. В некоторых редких случаях внешние признаки могут быть одинаковыми, но после вскрытия (при отборе пробы) между единицами могут обнаружиться большие отличия, например в том, как выглядит содержащийся в них порошок. В таком случае процедуру отбора проб по вышеуказанным критериям следует прекратить. Как правило, это происходит в случаях, когда на внешние признаки упаковок не обращают внимания.

Теоретически, для того чтобы отобрать из совокупности действительно случайную репрезентативную пробу на объективной основе, каждому объекту в совокупности следует присвоить свой индивидуальный номер и затем использовать генератор случайных чисел для определения единицы, которую следует отобрать. На практике это не представляется возможным, особенно в тех случаях, когда речь идет о крупных совокупностях, содержащих тысячи единиц материала.

При подготовке проб важно помнить о двух принципах:

- характеристики пробы являются истинным отражением характеристик всей совокупности, из которой взяты пробы;
- в качестве пробы может быть отобрана совершенно любая единица совокупности.

На деле обеспечить соблюдение этих двух принципов гораздо сложнее, чем это может показаться на первый взгляд. Как отмечалось выше, решение относительно того, какие пробы следует отобрать, оставляется на усмотрение лица, проводящего исследование, поскольку в случаях, когда совокупность насчитывает большое количество единиц, пронумеровать все единицы

и использовать протокол на основе случайной выборки чисел невозможно. Поэтому, учитывая субъективность выбора, иногда случается, что эксперт склонен выбирать единицы одинакового размера, вместо того чтобы произвести действительно случайный отбор пробы.

Проблема случайного отбора на практике решается довольно легко: когда внешние признаки одинаковы, все единицы можно поместить в “черный ящик” (пластиковый пакет или нечто подобное), и в качестве пробы из него произвольно выбирается любая единица. Такой способ можно применять на деле, когда изымается тысяча “уличных” доз героина во внешне одинаковых упаковках или тысяча таблеток. В таком случае может быть применен метод отбора проб из “черного ящика” для устранения (или, по крайней мере, сведению к минимуму) какой бы то ни было субъективности при взятии проб. Когда мы говорим о методе отбора из “черного ящика”, мы имеем в виду любой метод, который позволит не допустить сознательного выбора лицом, производящим выборку, конкретных единиц из совокупности. Такие методы пока не являются стандартными, и мы можем сослаться на вышеприведенный пример.

4. Случайный отбор проб

Ниже описаны различные методы случайного отбора проб. Они часто применяются на практике и во многих случаях оказываются эффективными. Вместе с тем они не имеют под собой статистической основы, и в случае крупных изъятий их применение может привести к отбору слишком крупной пробы. Представленный ниже перечень существующих процедур отбора проб не является исчерпывающим; некоторые лаборатории применяют несколько измененные варианты описанных методов:

1. Весь объем ($n = N$)

Преимущество(-а): 100-процентная определенность в отношении состава совокупности.

Недостаток(-и): Слишком большие объемы проб в случае более крупных совокупностей.

2. $n = 0,05N$, $n = 0,1N$, и т. д.

Преимущество(-а): Простота подхода.

Недостаток(-и): Слишком большие объемы проб в случае более крупных совокупностей.

3. $n = \sqrt{N}$, $n = 0,5\sqrt{N}$, $n = \sqrt{\frac{N}{2}}$ и т. д.

Преимущество(-а): Широко распространенный метод.

Недостаток(-и): Проб может оказаться слишком мало в случае небольшого объема совокупности. Слишком большой объем пробы в случае более крупных совокупностей.

4. $n = 20 + 10\%(N - 20)$ (где $N > 20$)

Преимущество(-а): Гетерогенные совокупности могут быть обнаружены еще до завершения анализа.

Недостаток(-и): Слишком большие объемы проб в случае более крупных совокупностей.

5. при $N < x$ $n = N$

$$x \leq N \leq y \quad n = z$$

$$N > y \quad n = \sqrt{N}$$

(где x , y и z соответствуют произвольному количеству; $x < y$ и $x \leq z < y$)

Преимущество(-а): Метод, рекомендованный Программой Организации Объединенных Наций по международному контролю над наркотиками (ЮНДКП) ($x = 10$, $y = 100$, $z = 10$).

Недостаток(-и): Слишком большой объем проб в случае более крупных совокупностей.

6. $n = 1$

Преимущество(-а): Минимальный объем работы.

Недостаток(-и): Минимальный объем информации о характеристиках изъятого материала.

5. Статистические методы отбора проб

1. Введение

Рассматриваемые в настоящей главе методы представляют собой статистически обоснованные способы определения объема проб. Первые два метода относятся к частотным, а третий описывает байесовский подход.

Частотный метод основывается на предположении о том, что некоторая определенная, но неизвестная доля изъятого материала содержит наркотики. Доля наркотиков в одной пробе (= количеству содержащихся в отобранной пробе единиц) может дать представление о доле наркотиков в данном изъятии. Однако доля наркотиков в разных пробах будет отличаться. Поэтому частотные методы обеспечивают доверительную вероятность $(1 - \alpha)100\%$ (например, 95%, если α устанавливается в размере 0,05), при которой при данной доле наркотиков, содержащихся в пробе, доля наркотиков в общем объеме изъятия составляет по меньшей мере $k100\%$ (например, 90%, если значение k устанавливается на уровне 0,9). Другими словами, этот метод позволяет достоверно определить наличие по меньшей мере 90 процентов наркотиков в общем объеме изъятия в 95 случаях из 100.

Байесовский метод основывается на том предположении, что доля наркотиков, содержащихся в пробе, является известной и фиксированной. Эта величина используется для вероятностного расчета по некоторым значениям неизвестной доли наркотиков в общем объеме изъятия, которая на тот момент по-прежнему считается переменной. Этот подход позволяет учитывать те или иные сведения об изъятии, которыми вы, возможно, располагаете. Хотя доля наркотиков в общем объеме изъятия является неизвестной, зачастую выдвигаются некоторые предположения относительно того, какой эта доля может быть. Например, если все растения на конопляной плантации выглядят одинаково, то, вероятно, все эти растения являются коноплей. Возможны также ситуации, когда нет никаких сведений о количестве и виде наркотиков, содержащихся в изъятии. В зависимости от имеющейся предварительной информации для определения необходимого размера проб в рамках байесовского подхода будут применяться разные математические модели.

Гипергеометрическое распределение

Применение

Вероятность того, что проба объемом n насчитывает X положительных единиц (содержащих запрещенные наркотики) при условии, что совокупность размером N насчитывает N_1 положительных единиц, можно считать следующим образом:

$$P(X = x | N_1, N, n) = \frac{\binom{N_1}{x} \binom{N - N_1}{n - x}}{\binom{N}{n}}.$$

Это гипергеометрическое распределение. Такое распределение лежит в основе первого (и наиболее распространенного) частотного метода.

При отборе проб наркотиков количество положительных единиц N_1 , и отрицательных единиц $N - N_1$ неизвестно. Чтобы точно определить их количество, необходимо проанализировать все изъятие. В случае, если допускается некоторая неопределенность, то гипергеометрическое распределение можно использовать для расчета объема пробы, состоящей из n единиц, которые необходимо проанализировать, при том условии, что по меньшей мере K ($= kN$) единиц являются положительными при доверительной вероятности $(1 - \alpha)100\%$. Например, можно рассчитать значение n таким образом, что при 95-процентной доверительной вероятности по меньшей мере 90 процентов таблеток будут содержать запрещенные наркотики. Выбор таких значений α и k обусловлен положениями руководств для лабораторий, стоимостью, юридическими требованиями и т. д.

В случае, если значения α и k выбраны и предположительно задано количество положительных единиц, которые могут присутствовать в пробе (обычно обозначается x), то размер пробы n может быть рассчитан по вышеуказанной формуле. Для расчета суммарной вероятности используйте формулу $P(X \geq x) = (1 - \alpha)$ приняв при этом $N_1 = K$. В таблице 1 указаны искомые объемы проб, рассчитанные по некоторым заданным стандартным значениям α и k при разных объемах совокупностей, при том условии, что все содержащиеся в пробах единицы считаются положительными. В таблице 2 приведена та же информация, но для случаев, когда одна или две из таких единиц могут оказаться отрицательными (не содержащими запрещенных наркотиков). Объемы проб можно также рассчитать с помощью макроса, в частности в программе Excel, который размещен на веб-сайте ЕСИСМ (www.enfsi.eu в разделе "Documents Publications").

Таблица 1. Гипергеометрическое распределение

Объем совокупности N	Доверительная вероятность 95%			Доверительная вероятность 99%		
	$k = 0,5$	$k = 0,7$	$k = 0,9$	$k = 0,5$	$k = 0,7$	$k = 0,9$
10	3	5	8	4	6	9
20	4	6	12	5	9	15
30	4	7	15	6	10	20
40	4	7	18	6	10	23
50	4	8	19	6	11	26
60	4	8	20	6	11	28
70	5	8	21	7	12	30
80	5	8	22	7	12	31
90	5	8	23	7	12	32
100	5	8	23	7	12	33
200	5	9	26	7	13	38
300	5	9	27	7	13	40
400	5	9	27	7	13	41
500	5	9	28	7	13	41
600	5	9	28	7	13	42
700	5	9	28	7	13	42
800	5	9	28	7	13	42
900	5	9	28	7	13	43
1 000	5	9	28	7	13	43
5 000	5	9	29	7	13	44
10 000	5	9	29	7	13	44

Примечание: Искомые значения объемов проб с 95- или 99-процентной доверительной вероятностью гарантируют, что в изъятом веществе содержится по крайней мере какая-то доля наркотиков k , если исходить из того, что все отобранные в качестве проб единицы содержат наркотики.

Пример 1

Предположим, что совокупность насчитывает 100 упаковок. Чтобы с 95-процентной доверительной вероятностью гарантировать, что по меньшей мере 90 процентов упаковок содержат запрещенные наркотики, необходимо отобрать 23 упаковки, и все эти упаковки должны содержать запрещенные наркотики (см. таблицу 1).

Зачастую выдвигается предположение о том, что все отобранные в качестве проб единицы содержат наркотики. Такое предположение делается исходя из многолетнего опыта работы в этой области или просто на том основании, что нет смысла смешивать наркотики с веществами,

не содержащими наркотики, за исключением, пожалуй, только верхнего слоя, который может состоять из ненаркотического вещества для того, чтобы отвлечь внимание. Вместе с тем иногда одна или несколько единиц в пробе могут не содержать наркотики. В таком случае сокращается гарантированная доверительная вероятность или минимальная доля наркотиков в совокупности. На диаграмме I показано, что для пробы объемом 23 единицы доверительная вероятность, гарантирующая присутствие в совокупности по меньшей мере 90 процентов наркотиков, сокращается с 95 до 77 процентов, если в пробе имеется хотя бы одна единица, не содержащая наркотиков, а не ноль таких единиц (когда $N = 100$). Другим и, пожалуй, более полезным для представления дела в суде вариантом является сохранение вероятности на уровне 95 процентов и последующий расчет минимальной доли наркотиков. На диаграмме II показано, что гарантированная при 95-процентной доверительной вероятности доля наркотиков сокращается с 90 до 84 процентов (при объеме пробы, равном 23, и одной отрицательной единице вместо нуля таких единиц, когда $N = 100$). Из таблицы 2 видно, что для того чтобы с 95-процентной доверительной вероятностью гарантировать присутствие в совокупности по меньшей мере 90 процентов наркотиков при изначальном условии наличия в пробе предположительно одной отрицательной единицы, необходима проба объемом в 36 единиц.

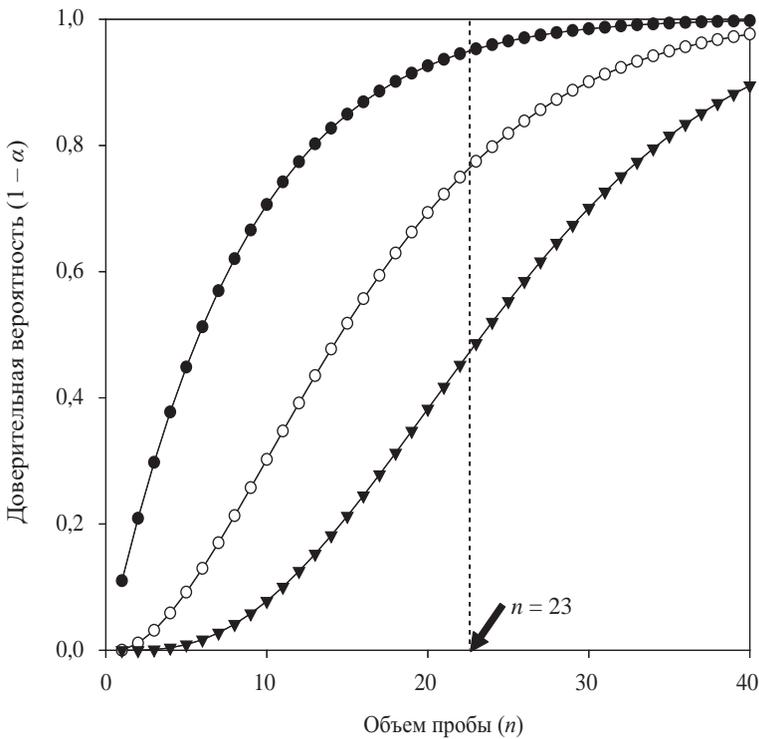
Таблица 2. Гипергеометрическое распределение

Объем совокупности N	Доверительная вероятность 95%						Доверительная вероятность 99%					
	$k = 0,5$		$k = 0,7$		$k = 0,9$		$k = 0,5$		$k = 0,7$		$k = 0,9$	
	1 отр. ед.	2 отр. ед.	1 отр. ед.	2 отр. ед.	1 отр. ед.	2 отр. ед.	1 отр. ед.	2 отр. ед.	1 отр. ед.	2 отр. ед.	1 отр. ед.	2 отр. ед.
10	5	7	7	9	10	—	6	7	8	9	10	—
20	6	8	10	13	17	20	8	10	12	14	19	20
30	7	9	11	14	22	27	8	11	14	17	25	29
40	7	9	12	15	26	32	9	11	15	18	30	35
50	7	10	12	16	29	36	9	12	16	20	34	41
60	7	10	12	16	31	39	9	12	16	20	38	45
70	7	10	13	17	32	41	10	12	17	21	40	48
80	7	10	13	17	34	43	10	12	17	21	42	51
90	7	10	13	17	35	45	10	13	17	21	44	54
100	7	10	13	17	36	46	10	13	17	22	46	56
200	8	10	14	18	40	53	10	13	18	24	54	67
300	8	10	14	19	42	55	10	13	19	24	57	71
400	8	11	14	19	43	57	10	13	19	24	58	74
500	8	11	14	19	44	58	10	14	19	24	59	75

Объем совокупности N	Доверительная вероятность 95%						Доверительная вероятность 99%					
	$k = 0,5$		$k = 0,7$		$k = 0,9$		$k = 0,5$		$k = 0,7$		$k = 0,9$	
	1 отр. ед.	2 отр. ед.	1 отр. ед.	2 отр. ед.	1 отр. ед.	2 отр. ед.	1 отр. ед.	2 отр. ед.	1 отр. ед.	2 отр. ед.	1 отр. ед.	2 отр. ед.
600	8	11	14	19	44	58	10	14	19	25	60	76
700	8	11	14	19	44	59	11	14	19	25	61	77
800	8	11	14	19	44	59	11	14	19	25	61	77
900	8	11	14	19	45	59	11	14	19	25	61	78
1 000	8	11	14	19	45	59	11	14	19	25	62	78
5 000	8	11	14	19	46	61	11	14	20	25	64	81
10 000	8	11	14	19	46	61	11	14	20	25	64	81

Примечание: Искомые значения объемов проб с 95- или 99-процентной доверительной вероятностью гарантируют, что в изъятом веществе содержится по крайней мере какая-то доля наркотиков k , если одна или две единицы, отобранные в качестве проб, предположительно не содержат наркотиков (1 или 2 отрицательные единицы).

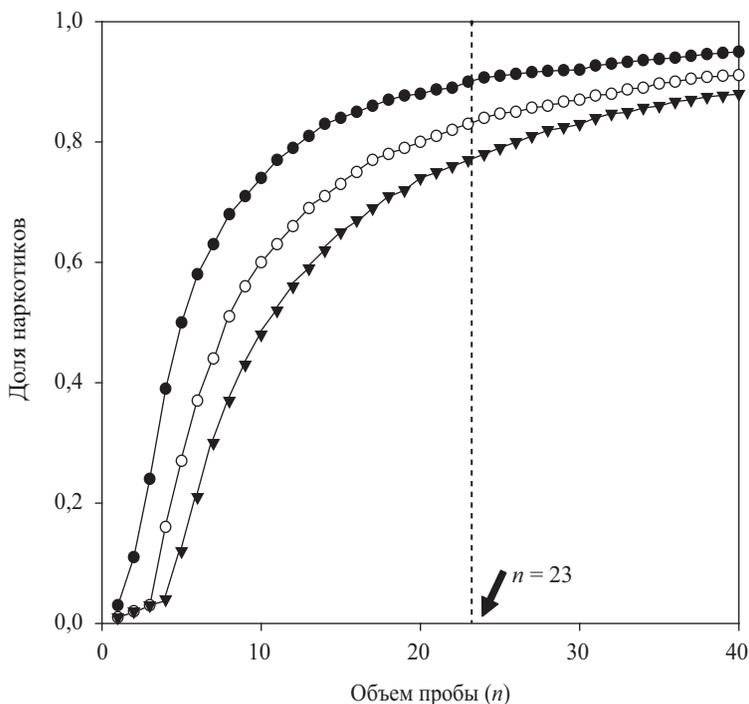
Диаграмма I. Доверительная вероятность в зависимости от объема пробы



Доверительная вероятность в зависимости от объема пробы ($N = 100$; $k = 0,9$) при условии предположительного наличия 0, 1 или 2 отрицательных единиц. Кривая \bullet соответствует пробе, не содержащей отрицательных единиц, \circ — пробе с одной отрицательной единицей; \blacktriangledown — пробе с двумя отрицательными единицами.

С точки зрения статистики неправильно отбирать еще 13 единиц в дополнение к 23 уже отобраным, если одна из этих 23 единиц по результатам анализа не содержит наркотиков. Перед отбором проб необходимо выдвинуть предположение о том, сколько отрицательных единиц может содержаться в пробе. Затем, если одна или несколько единиц в пробе окажутся отрицательными, это соответствующим образом отразится на уровне доверительной вероятности и/или гарантированной доле наркотиков. Из-за этой особенности отбор проб с применением гипергеометрического распределения (и других частотных методов) на интуитивном уровне с трудом поддается пониманию.

Диаграмма II. Доверительная вероятность в зависимости от объема пробы



Доверительная вероятность в зависимости от объема пробы ($N = 100$; $k = 0,95$) при условии предположительного наличия 0, 1 и 2 отрицательных единиц. Кривая ● — соответствует пробе, не содержащей отрицательных единиц; ○ — пробе с одной отрицательной единицей; ▼ — пробе с двумя отрицательными единицами.

Пример 2

Чтобы гарантировать с высокой степенью вероятности (скажем, 95 процентов), что в большей части ($> 50\%$) партии (из 100) содержатся наркотики, то при условии, что не обнаружено ни одного отрицательного результата, достаточно взять лишь одну пробу в количестве пяти единиц (см. таблицу 1).

Теория

Настоящий раздел предназначен для тех, кому требуется дополнительная справочная информация о гипергеометрическом распределении и расчете табличных значений.

Метод гипергеометрического распределения и, следовательно, приведенная ниже теория предполагают, что пробы берутся безвозвратно. Объем пробы, выбираемой из совокупности объемом N рассчитывается по нулевой гипотезе, согласно которой количество положительных единиц в совокупности меньше K , в отличие от альтернативной гипотезы, по которой количество положительных единиц больше или равно K .

$$H_0 : N_1 < K \text{ и } H_1 : N_1 \geq K.$$

Для привлечения наркокурьера к ответственности за все изъятые единицы желательно, чтобы $N_1 \geq K$. Требуется найти доказательства, позволяющие отвергнуть нулевую гипотезу; но серьезные ошибки при этом не допускаются. Это означает, что вероятность отклонения нулевой гипотезы – при том, что она верна, – должна быть мала, например $\alpha 100\%$. В этом случае доверительный уровень составляет $(1 - \alpha)100\%$. Эти гипотезы проверяются с использованием положительных единиц в пробе X , принятом в качестве статистического критерия. Нулевая гипотеза отклоняется, если значение X превышает определенное число. Если это число принято в качестве количества ожидаемых в пробе положительных единиц, x , то тогда значение n рассчитывается по формуле

$$P(X \geq x | N_1 < K) \leq \alpha.$$

Иными словами, объем пробы n выбирается таким образом, чтобы при нулевой гипотезе вероятность того, что количество положительных единиц в пробе окажется больше x , была меньше α . Это гипергеометрическое распределение убывает по мере уменьшения N_1 и поэтому все вероятности со значениями $N_1 < K$ меньше, чем вероятность при $N_1 < K - 1$. Таким образом, значение n рассчитывается по формуле:

$$P(X \geq x | N_1 < K) = \sum_{i=x}^n \frac{\binom{K-1}{i} \binom{N-K+1}{n-i}}{\binom{N}{n}} \leq \alpha.$$

При $x = n$ формула упрощается:

$$\frac{\binom{K-1}{n} \binom{N-K+1}{0}}{\binom{N}{n}} \leq \alpha,$$

то есть

$$P_0 = \frac{(K-1)!(N-n)!}{(K-n-1)!N!} = \frac{(K-1)(K-2)\dots(K-n)}{N(N-1)\dots(N-n+1)} \leq \alpha.$$

При наличии в пробе одной отрицательной единицы неравенство сокращается

$$P_0 \left[1 + \frac{n(N-K+1)}{(K-n)} \right] \leq \alpha,$$

а при двух отрицательных единицах оно приобретает следующий вид

$$P_0 \left[1 + \frac{n(N-K+1)}{(K-n)} \left\{ 1 + \frac{(n-1)(N-K)}{2(K-n+1)} \right\} \right] \leq \alpha \text{ и т. д.}$$

Следует отметить, что приведенные выше формулы представляют собой упрощенный вариант и теряют смысл, когда $P_0 = 0$. Если $P_0 = 0$, то вероятность выявления одной или двух отрицательных единиц не следует сводить до нулевого значения. В программном обеспечении это учтено. Более подробное пояснение содержится в отчете об утверждении, с которым можно ознакомиться по запросу.

Биномиальное распределение

Применение

Это второй метод с применением частотного подхода. Он более прост, но может использоваться только в особых случаях. При биномиальном распределении пробы берутся с возвращением. Это означает, что единица после взятия и анализа пробы возвращается на место, после чего берется следующая единица. Естественно, для взятия проб наркотиков такой метод не практикуется. Но в случаях, когда изъятие является очень крупным (не менее 50 единиц, но желательно еще крупнее), а проба сравнительно невелика, метод гипергеометрического распределения может быть аппроксимирован менее сложным методом биномиального распределения. В этом

случае вероятность того, что в пробе объемом n содержится X положительных единиц (т. е. единиц, содержащих запрещенные наркотики), при условии, что в совокупности N содержится доля $\theta = \frac{N_1}{N}$ положительных единиц, составляет

$$P(X = x | \theta, n) = \binom{n}{x} \theta^x (1 - \theta)^{n-x}.$$

Как и в случае гипергеометрического распределения, метод биномиального распределения можно использовать для расчета пробы объемом n так, что при доверительном уровне $(1 - \alpha)100\%$ можно утверждать, что доля положительных единиц составляет не менее $k100\%$. Расчеты по методу биномиального распределения проще, чем расчеты при гипергеометрическом распределении. При этом не следует забывать, что метод биномиального распределения является аппроксимацией. Объем пробы, рассчитанный с его помощью, будет несколько завышен. Только в случаях изъятия очень больших объемов (иногда – несколько тысяч) результаты расчетов объема проб, произведенных с помощью этих двух методов, будут полностью совпадать.

Если отрицательных результатов не ожидается, то объем пробы n , в отношении которой с доверительной вероятностью $(1 - \alpha)100\%$ можно допустить, что ее часть величиной не менее $k100\%$ является положительной, рассчитывается по формуле минимального значения

$$n \leq \frac{\log \alpha}{\log \theta}$$

независимо от объема совокупности. Если в пробе обнаружены отрицательные единицы, то выводы следует скорректировать так же, как и при гипергеометрическом распределении. И в этом случае можно использовать таблицы или программное обеспечение, размещенное на веб-сайте ЕСИСМ (www.enfsi.eu).

Пример 1

Изъята крупная партия вещества. Опытные сотрудники полиции могут понимать, что все это, вероятно, героин. Даже если героин составляет только половину, то все равно это крупное изъятие. Поэтому достаточной является проба, которая с 95-процентной доверительной вероятностью гарантирует, что наркотики составляют не менее 50 процентов изъятого вещества. В таблице 3 показано, что в этом случае объем пробы будет равен 5 единицам при условии, что отрицательные результаты не предполагаются.

Пример 2

Чтобы с 95-процентной доверительной вероятностью гарантировать, что наркотики содержатся как минимум в 90 процентах таблеток, нужно взять пробу в количестве 29 штук (если отрицательные единицы в этой пробе не ожидаются). Сравните это с методом гипергеометрического распределения, при котором отбор пробы нужно производить из совокупности объемом 100 единиц. В этом случае размер пробы составляет лишь 23 таблетки. Только при совокупности объемом 1600 единиц результаты биномиального распределения совпадают с результатами гипергеометрического распределения для этих конкретных значений $(1 - \alpha)100\%$ и k .

Теория

Теоретическая основа биномиального распределения аналогична теории, на которую опирается гипергеометрическое распределение. Эти два случая выражаются неравенствами

$$H_0 : \theta < k$$

$$H_1 : \theta \geq k$$

Таблица 3. Биномиальное распределение

Объем совокупности N	Доверительная вероятность 95%			Доверительная вероятность 99%		
	$k = 0,5$	$k = 0,7$	$k = 0,9$	$k = 0,5$	$k = 0,7$	$k = 0,9$
0 отр. единиц	5	9	29	7	13	44
1 отр. единица	8	14	46	11	20	64
2 отр. единицы	11	19	61	14	25	81

Примечание: Такой объем пробы необходим для того, чтобы гарантировать с доверительной вероятностью 95 процентов или 99 процентов, что в изъятом веществе присутствует как минимум доля k наркотиков, если ожидается, что 0, 1 или 2 единицы пробы не содержат наркотиков (0, 1 или 2 отрицательные единицы). Такой расчет следует применять только в случае крупных изъятий.

Величина n определяется по формуле

$$P(X \geq x | \theta < k) = \sum_{i=x}^n \binom{n}{i} \theta^i (1-\theta)^{n-i} \leq \alpha.$$

При $x = n$ верно следующее неравенство

$$\theta^n \leq \alpha$$

т. е. нужно найти минимальное значение, при котором

$$n \leq \frac{\log \alpha}{\log \theta}$$

Биномиальное распределение является аппроксимацией гипергеометрического распределения. Значение n , рассчитанное по методу биномиального распределения, всегда будет равняться значению, рассчитанному методом гипергеометрического распределения, или превышать эту величину.

Байесовский метод

Применение

При байесовском (как и при частотном) методе можно провести различие между взятием проб с возвращением и взятием проб без возвращения. И в этом случае отбор проб с возвращением является более простым и может применяться в качестве аппроксимации в случаях, когда объем совокупности составляет не менее 50 единиц, а проба сравнительно невелика. В этом случае завышенная оценка не является такой проблемой, как при биномиальном распределении. Поэтому при байесовском методе значительно шире применяется аппроксимация взятия проб с возвращением.

Сторонники байесовского метода полагают, что, хотя доля совокупности неизвестна, определить ее размер можно по ряду признаков. Эти признаки представлены в распределении вероятностей $p(\theta)$, так называемом априорном распределении доли. Эти приблизительные сведения сочетаются с информацией, полученной после анализа пробы, при так называемом апостериорном распределении долей с учетом результатов отбора пробы. Апостериорное распределение позволяет напрямую рассчитать вероятность того, что доля наркотиков как минимум составляет k (при данных результатах выборки), без использования проверок или доверительных интервалов. Это объясняется тем, что расчет с помощью байесовского метода производится непосредственно по формуле $P(\theta > k | x, n)$, а не по формуле $P(X > x | \theta > k, n)$, как это делается при частотном подходе.

Изъятие объемом 50 или более единиц

Если совокупность велика ($N \geq 50$) и размер пробы в сравнении с этой совокупностью довольно незначителен, то функция плотности распределения вероятностей для доли θ положительных единиц – учитывая, что

в пробе объемом n содержится x положительных единиц, – выглядит следующим образом:

$$f(\theta | x, n, a, b) = Be(x + a, n - x + b) = \frac{\theta^{x+a-1}(1-\theta)^{n-x+b-1}}{B(x + a, n - x + b)}$$

Это функция бета-распределения с параметрами $x + a$ и $n - x + b$. Параметры a и b должны быть заданы заранее исходя из априорного знания или предполагаемого значения величины θ . Эти предварительные сведения наряду с информацией о значениях (объем пробы n и количество положительных единиц в пробе x) образуют представленное выше апостериорное распределение. Be означает бета-распределение, а B – бета-функцию. Более подробную информацию см. в теоретическом разделе.

Вероятность того, что величина доли наркотиков в совокупности больше k , может быть рассчитана по формуле $P(\theta > k | x, n)$. Этим методом можно пользоваться для отбора такого размера n пробы, при котором вероятность того, что $\theta > k$, составляет $(1 - \alpha)100\%$. Например, возьмем такое значение n , при котором на 95 процентов вероятно, что не менее 90 процентов таблеток содержат запрещенные наркотики. Эти расчеты производятся независимо от объема совокупности. Расчет значения n методом бета-распределения лучше всего производить с помощью компьютера. Таблица 4 составлена на основе компьютерных расчетов, а командой макрос можно воспользоваться на веб-сайте ЕСИСМ (www.enfsi.eu). Как и при использовании частотных методов, допускаем априори, каково будет число положительных единиц в вашей пробе, а затем скорректируем сделанные выводы, если впоследствии это число окажется неверным. И здесь в большинстве случаев не ожидается наличия отрицательных единиц.

Помимо ожидаемого количества положительных единиц в пробе нужно выбрать один из методов априорного распределения. Как правило, применяется бета-распределение. Один вариант – принять оба параметра a и b равными 1, если априори нет мнения о составе таблеток. Далее априорное распределение будет соответствовать равномерному распределению. Другой вариант – принять обе величины равными 0,5, если априори есть мнение, что либо наркотики присутствуют во всех таблетках, либо наркотиков нет ни в одной из них. Если на основе предварительного визуального осмотра, опыта или иных соображений априори сложилось предположение, что наркотики содержатся во всех таблетках, примем $b = 1$ и $a = 3$ (или даже больше). Например, обнаружено 100 аналогичных упаковок; все они содержат совершенно однотипный порошок белого цвета, обладают аналогичной структурой и все имеют одинаковый вес. Более крайним случаем может являться взятие проб на плантации конопли.

Таблица 4. Бета-распределение (с параметрами $x + a$ и $n - x + b$)

$a = 1$ $b = 1$	Доверительная вероятность 95%			Доверительная вероятность 99%		
	$k = 0,5$	$k = 0,7$	$k = 0,9$	$k = 0,5$	$k = 0,7$	$k = 0,9$
0 отр. единиц	4	8	28	6	12	43
1 отр. единица	7	13	45	10	19	63
2 отр. единицы	10	18	60	13	24	80

$a = 3$ $b = 1$	Доверительная вероятность 95%			Доверительная вероятность 99%		
	$k = 0,5$	$k = 0,7$	$k = 0,9$	$k = 0,5$	$k = 0,7$	$k = 0,9$
0 отр. единиц	2	6	26	4	10	41
1 отр. единица	5	11	43	8	17	61
2 отр. единицы	8	16	58	11	22	78

$a = 0,5$ $b = 0,5$	Доверительная вероятность 95%			Доверительная вероятность 99%		
	$k = 0,5$	$k = 0,7$	$k = 0,9$	$k = 0,5$	$k = 0,7$	$k = 0,9$
0 отр. единиц	3	6	18	5	10	32
1 отр. единица	6	12	38	9	17	55
2 отр. единицы	9	17	54	12	22	73

Примечание: Искомый объем пробы с вероятностью 95 или 99 процентов гарантирует, что в изъятом веществе содержится как минимум какая-то доля k наркотиков, если исходить из того, что 0, 1 или 2 единицы пробы не содержат наркотиков (0, 1 или 2 отрицательные единицы). Предположим, что изъято большое количество вещества ($N \geq 50$). Используем значения $a = 1$, $b = 1$, если априорных сведений нет; $a = 0,5$, $b = 0,5$, если есть разумные основания полагать, что все изъятое вещество – это наркотики или наркотики в нем вообще отсутствуют; и $a = 3$, $b = 1$ или более крупные величины, если есть основания полагать, что наркотики содержатся во всем изъятом объеме или в большей его части.

Пример 1

Чтобы при отсутствии какой-либо априорной информации (см. таблицу 4 при $a = 1$, $b = 1$, 0 отрицательных единиц) с 95-процентной вероятностью гарантировать, что как минимум 90 процентов всех таблеток содержат запрещенные наркотики, при применении байесовского метода требуется проба в количестве 28 таблеток. Это больше, чем при гипергеометрическом распределении, когда требуются лишь 23 таблетки (см. таблицу 1). Однако, если совершенно очевидно, что мы имеем дело с наркотиками и, исходя из практического опыта, мы считаем, что наркотики, скорее всего, составляют весь изъятый объем, то размер пробы уменьшается до 26 таблеток ($a = 3$, $b = 1$) или даже до 19 штук ($a = 10$, $b = 1$; примечание: расчетное значение, не показанное в таблице).

Пример 2

Чтобы гарантировать с 95-процентной вероятностью, что наркотики содержатся как минимум в половине изъятого объема, необходима проба в количестве лишь 4 таблеток (если в этой пробе не ожидается отрицательных единиц). В самых крайних случаях этот показатель можно уменьшить или увеличить на 1 или 2 таблетки. В целом же, чтобы гарантировать содержание не менее 50 процентов наркотиков (с вероятностью 95 процентов), достаточно взять пробу в количестве 4 таблеток.

Изъятие объемом менее 50 единиц

Если партия незначительна ($N < 50$), то вместо доли положительных результатов лучше выяснить количество положительных результатов в необследованных единицах. Функция распределения вероятностей для количества положительных результатов в необследованных единицах Y , считая, что в пробе объемом n содержится x положительных единиц, выглядит следующим образом:

$$f(Y | x, n, (N - n), a, b) = \frac{\Gamma(n + a + b) \binom{N - n}{y} \Gamma(y + x + a) \Gamma(N - x - y + b)}{\Gamma(x + a) \Gamma(n - x + b) \Gamma(N + a + b)} .$$

Это бета-биномиальное распределение.

Вероятность того, что количество положительных единиц в необследованных таблетках больше, чем y , рассчитывается по формуле $P(Y \geq y | x, n, N)$. Этот метод можно использовать при отборе пробы объемом n ; при этом вероятность того, что $Y > y$, составляет $(1 - \alpha)100\%$. Расчеты по методу бета-биномиального распределения для определения значения n следует выполнять на компьютере (статистические программы, макрос Excel) или, по крайней мере, на микрокалькуляторе для научных целей. Как и при частотных методах, вам следует предварительно выбрать предполагаемое количество положительных единиц в вашей пробе, а затем скорректировать выводы, если эта величина окажется неверной. И здесь в большинстве случаев не ожидается наличия отрицательных единиц.

В отличие от биномиального байесовского метода для крупных изъятий, расчетный размер пробы для мелких изъятий зависит от величины изъятого объема. Кроме того, расчетные величины долей не могут быть очень точными из-за небольших количеств.

Поэтому для небольших изъятий, по-видимому, лучше всего применять метод гипергеометрического распределения или же использовать объемы

пробы, рассчитанные по методу Байеса для больших изъятий, как аппроксимацию для незначительных партий.

Теория

Настоящий раздел предназначен для тех, кто хочет узнать, как рассчитываются числа, фигурирующие в таблицах.

При байесовском методе допускается использование априорной информации о том или ином параметре (например, о доле наркотиков в изъятой партии); благодаря комбинированию этих априорных сведений с результатами взятия пробы можно получить апостериорную информацию об этом параметре. Пусть θ будет интересующим нас параметром, а x – величиной, полученной в результате взятия пробы; тогда по теореме Байеса:

$$P(\theta | x) = \frac{P(x | \theta)p(\theta)}{P(x)}.$$

Это нередко выражается в виде формулы Байеса:

$$P(\theta | x) \propto L(\theta | x)p(\theta)$$

Здесь $p(\theta)$ – априорное распределение, отражающее неопределенный характер информации о параметре θ . Если сведения или какие-либо представления об этом параметре отсутствуют, то любое значение (от 0 до 1, если θ – доля) может быть вероятным. Тогда $p(\theta)$ отражает равномерное распределение. Это особый случай бета-распределения. В целом бета-распределение с параметрами a и b является допустимым.

Формула бета-распределения $Be(a, b)$ имеет следующий вид:

$$f(\theta | a, b) = \frac{\theta^{a-1}(1-\theta)^{b-1}}{B(a, b)},$$

где бета-функция $B(a, b) = \int_0^1 y^{a-1}(1-y)^{b-1} dy$.

Это также можно выразить формулой $B(a, b) = \Gamma(a)\Gamma(b)/\Gamma(a+b)$, где мы использовали гамма-функцию Γ .

При отсутствии априорных сведений об объеме изъятия значения a и b принимаются равными 1 (равномерное распределение). Если имеется какая-либо дополнительная информация, например все изъятые единицы имеют схожие (визуальные) характеристики, то следует применять другие значения a и b . Если все таблетки выглядят одинаково, то, скорее всего, все они содержат наркотики или наркотиков нет ни в одной из них; тогда $a = 0,5$ и $b = 0,5$. Если есть основания подозревать, что речь идет о наркотиках, то

значение θ может быть очень высоким, a может равняться 3 и $b = 1$, или даже выше: $a = 10$ и $b = 1$. При выборе значения для a могут также учитываться результаты экспресс-тестов.

Формула Байеса $L(\theta | x)$ представляет собой функцию вероятности. Эта функция содержит информацию о данных. Речь фактически идет о той же функции вероятности, которой пользуются сторонники частотного метода, когда $N > 50$ (биномиальное распределение), за исключением случаев, когда данные (x) берутся в качестве постоянных, а параметр θ – в качестве переменной.

Функция вероятности сочетает априорную информацию с апостериорным распределением пропорции θ с учетом конкретных данных:

$$f(\theta | x, n, a, b) = Be(x + a, n - x + b) = \frac{\theta^{x+a-1}(1-\theta)^{n-x+b-1}}{B(x+a, n-x+b)}.$$

Если во всех отобранных таблетках содержатся наркотики ($x = n$), то это выражается формулой

$$f(\theta | n, n, a, b) = Be(n + a, b) = \frac{\theta^{n+a-1}(1-\theta)^{b-1}}{B(n+a, b)}$$

Для расчета размера пробы n с вероятностью того, что $(1-\alpha)100\%$ не менее $k100\%$ всех таблеток содержат наркотики, применяется следующее уравнение:

$$P(\theta > k | n, n, a, b) = \int_k^1 \theta^{n+a-1}(1-\theta)^{b-1} d\theta / B(n+a, b) = (1-\alpha)100\%.$$

Та же байесовская теория, касающаяся теоремы Байеса, применима в случае небольших партий. Тогда распределение $P(Y | N - n, \theta)$ носит биномиальный характер. Когда оно сочетается с априорным бета-распределением для θ получающаяся в результате функция апостериорного распределения $P(Y | n, N - n, \theta, a, b)$ является бета-биномиальной.

6. Соображения и рекомендации

В предыдущих главах кратко рассмотрен ряд стратегий взятия проб. Названы достоинства и недостатки некоторых методов без каких-либо реальных предпочтений. В настоящей главе предпринята попытка изложить ряд соображений о применении некоторых методов и отметить и обсудить связанные с этим аспекты, чтобы помочь лабораториям выбрать рекомендуемый метод (или методы) или “оптимальную практику”.

1. Основной принцип отбора проб

В основе отбора проб лежит предположение, что обнаруженный в образцах состав в принципе соответствует составу всей партии. Поэтому можно исследовать лишь часть от общего числа изъятых упаковок. Выборка представляет собой осознанный отказ от доведения дела до совершенства (что ненужно или невозможно) из соображений эффективности и экономии. Приведем пример: если при взятии одной пробы из 10 упаковок анализ выявит наличие кокаина, гипотеза о том, что кокаин содержится только в этой пробе является куда менее вероятной (10 процентов), чем гипотеза о том, что кокаин содержится в большинстве из этих 10 упаковок (более 50 процентов).

2. Цель отбора проб

По сути дела стратегия взятия проб полностью зависит от поставленного вопроса или проблемы, которые надо решить. Могут существовать различные причины, требующие осуществления преследования за хранение, производство или незаконный оборот. Этот вопрос обычно является следствием внутреннего законодательства или национальной политики (порядка), а в ряде случаев непосредственно обусловлен позицией прокурора или сотрудников органов полиции.

В упрощенном виде процедуру выборки можно свести к ряду следующих вопросов в порядке возрастания объема работы:

- A. Минимальная выборка: Присутствует ли наркотик? (Для ответа на этот вопрос может потребоваться один положительный результат.)
- B. Дополнительная выборка: Присутствует ли наркотик в (более чем) одной конкретной доле единиц?

- С. Максимальная выборка: Присутствует ли наркотик во *всех* единицах? (Для ответа на этот вопрос может потребоваться полный анализ всех единиц, что будет связано с непомерными затратами, особенно при большом количестве единиц.)

Ясно, что при изъятии крупных партий процедура В (дополнительная выборка) широко рассматривается как разумный метод, при котором научный работник зачастую может применить и статистический подход. В этом случае мы можем выбрать желаемый доверительный уровень. Рост доверительного уровня с 95 процентов до 99 процентов приведет к увеличению количества отбираемых проб; в зависимости от конкретных условий это может означать более чем удвоение числа проб. В статистике весьма распространенным и широко признанным является показатель в 95 процентов; поэтому мы рекомендуем принять 95-процентный доверительный уровень в качестве стандарта.

3. Закон убывающей эффективности

Если не считать уже установленных национальных процедур отбора проб, то одним из основных вопросов во всех статистических подходах является вопрос о том, какова минимальная доля (наименьший объем) партии, в которой должно подтвердиться наличие наркотиков. От ответа на этот вопрос в значительной степени зависит количество отбираемых проб. Сюда входят и другие вопросы: на каком основании и сколько это будет стоить? В таблице 5 показано, какое количество проб нужно взять, чтобы при доверительном уровне в 95 процентов признать наличие наркотиков в определенной (процентной) доле изъятого вещества (допуская, что вся проба представляет собой наркотик).

Таблица 5. Гипергеометрическое распределение

Доля изъятий, давших как минимум положительный результат при анализе на содержание наркотиков	При изъятии 100 единиц	При изъятии 1000 единиц
50%	5	5
60%	6	6
70%	8	9
80%	12	14
90%	23	28
95%	39	56

Примечание: Количество проб, которые нужно взять для описания (при доверительном уровне 95 процентов), определенной доли наркотиков в изъятом объеме, допуская наличие 0 отрицательных единиц в пробе.

Ясно, что чем больше искомая положительная доля, тем больше должен быть объем пробы. Однако свыше определенной доли (70–80 процентов) при сравнительно небольшом увеличении доли требуется сравнительно крупный прирост количества проб; такое соотношение обычно называют “законом убывающей эффективности”. Эта же тенденция четко выражена графически на диаграмме II; когда доля превышает 70–80 процентов, кривая идет вниз, указывая на отрицательное соотношение затрат/выгод. Необходимо найти золотую середину между затратами, связанными с экспоненциальным увеличением размера проб, и ростом гарантированно обнаруживаемой благодаря этому доли наркотиков.

4. Hypergeometric and Bayesian methods

Несмотря на многообразие используемых методов, пожалуй, наиболее широкое применение получил гипергеометрический подход. Он, однако, не очень гибкий и зачастую приводит к взятию слишком большого, а иногда и чрезмерного количества проб. По этой причине многие европейские лаборатории пользуются байесовским подходом. Этот метод допускает использование и другой относящейся к делу, так называемой априорной информации (например, внешних характеристик).

Основная проблема гипергеометрического метода состоит в том, что он действует “вслепую” и не учитывает дополнительные аспекты. Визуальный осмотр, проверка на наличие запаха, предварительный анализ и т. п. могут способствовать изучению изъятого материала, но полученные при этом сведения невозможно учесть при применении гипергеометрического подхода. Эту проблему лучше всего показать на примере. Согласно гипергеометрическим таблицам, при обследовании поля из 5000 всходов конопли необходимо взять 29 проб. Это количество представляется несколько завышенным, особенно для специалиста, долгие годы занимающегося обследованием посевов конопли: он чувствует запах конопли, обнаруживает ламповое освещение, подкормку, книги о выращивании конопли и т. п., после чего подозреваемое лицо сознается в выращивании конопли. Нужны ли после этого 29 проб? Во многих подобных случаях единственная проба представляется достаточной. Эту мысль можно сформулировать в более общей форме: в случаях когда есть вспомогательная информация, строгое применение гипергеометрического подхода влечет за собой нереалистично большое количество проб. Расхождение между гипергеометрической моделью и реальностью также становится очевидным, если рассматривать посевы конопли с другой точки зрения. Допустим, что 29 проб были взяты и все действительно оказались коноплей. Гипергеометрический вывод должен гласить, что как минимум 90 процентов этих растений действительно являются коноплей с вероятностью 95 процентов. Этот вывод звучит нереалистично и в любом случае представляется заниженным (и даже

смехотворным) для тех, кто бывал в полях конопли или видел их на картинках. Между математическим подходом и “здравым смыслом” здесь наблюдается расхождение.

Байесовский метод допускает включение в модель упомянутой выше дополнительной информации с помощью априорного распределения. В целом априорное распределение – это бета-распределение с параметрами a и b . Чем больше дополнительной информации, указывающей на то, что мы имеем дело с наркотиками и что наркотики содержатся во всех единицах, тем выше должно быть значение параметра a . В случае когда все растения выглядят одинаково и могут быть визуальным идентифицированы как конопля, а предположение о том, что все эти растения являются другим видом, можно отвергнуть, для параметра a выбирается очень высокое значение (например, 40). В этом случае число отбираемых проб действительно будет равно 1. При этом выбор точного значения параметра a может являться предметом обсуждения, поскольку стандартной нормы на этот счет не существует. Аналогичная, хотя и менее очевидная ситуация наблюдается в случае, когда в аэропорту задержан наркокурьер, перевозящий наркотики в желудке (“мул”), прибывший из какой-либо южноамериканской страны с 80 пластиковыми и резиновыми упаковками. После изъятия все они выглядят одинаково. При вскрытии двух из них обнаруживается белый порошок. Обе упаковки направляются на лабораторное исследование. Отличие от примера с полем конопли состоит в меньшей информационной ценности порошка, а сходство этих примеров – в условиях и ситуациях. При применении байесовского метода можно выбрать априорное распределение с более высоким, но намного меньшим, чем в предыдущем случае, значением a . Важность профессионального опыта общепризнана, но этот опыт нельзя увязать с гипергеометрическим распределением. Сазерленд в 1992 году отметил, что в случаях, когда речь идет о больших количествах упаковок, в которых, по данным визуального осмотра, содержится аналогичный материал, все эти упаковки всегда, как представляется, содержат один и тот же наркотик (примечание: такой вывод возможен только при качественном анализе). В случаях импорта/экспорта логика подсказывает, что, исходя из специфики ситуации, изъятый материал полностью состоит из наркотиков. Опыт Нидерландов показывает, что смеси с ненаркотическими средствами встречаются крайне редко. Для сведения: из многих десятков тысяч случаев лишь один раз некоторые из взятых проб дали отрицательный результат. Этот опыт можно увязать с байесовским подходом, но на данный момент стандартных правил не существует.

Метод гипергеометрического распределения может служить убедительным аргументом в суде, например при рассмотрении дела наркокурьера-“глотателя”. Защита может утверждать, что наркотики могли и не содержаться в тех 78 упаковках, которые не были обследованы. Тем не менее

вероятность того, что наркотики содержатся только в двух обследованных упаковках, составляет

$$\frac{\binom{2}{2} \binom{78}{0}}{\binom{80}{2}} = 0,000316,$$

т. е. 3 из 10 000. Это ничтожно малая степень вероятности. Если исходить из той посылки, что во всех упаковках, изъятых у всех наркокурьеров-“глотателей”, будут всегда содержаться наркотики, и применить байесовский подход, то эта вероятность станет еще меньше.

В целом можно утверждать, что при наличии дополнительной априорной информации методы Байеса являются предпочтительными, несмотря на возможные возражения о том, что в них допускаются априорные предположения субъективного характера. В случаях когда хочется полностью освободиться от субъективных гипотез или когда априорная информация практически отсутствует, частотные методы (гипергеометрический и биномиальный) выглядят привлекательными, так как их проще понять и объяснить. При этом они всегда обеспечивают весьма надежные размеры проб. Достоинство этих методов состоит в том, что защита вряд ли сможет опровергнуть их в суде, а недостаток – их затратность, связанная (зачастую) со слишком большим количеством проб, как показано в приведенных выше двух примерах. Биномиальные модели не рассчитаны на небольшие объемы изъятий. В таких случаях используются только байесовские (с бета-биномиальным распределением) и гипергеометрические модели, причем последние применяются более широко.

Когда большинство (не менее 50 процентов) всех единиц почти наверняка содержат наркотики, между результатами гипергеометрического распределения и байесовского метода нет существенных различий. Только в самых крайних случаях (например, плантации конопли) применение метода Байеса дает меньшие размеры проб. В большинстве других случаев объем пробы будет составлять около 5 единиц.

5. Практические аспекты

При взятии проб таблеток могут возникать некоторые специфические затруднения. Каков реалистичный размер пробы для 2000 таблеток, которые находятся в одной упаковке и имеют аналогичные внешние характеристики, в том числе один и тот же логотип?

Применение гипергеометрического подхода вновь даст результат в 29 единиц (для доли в 90 процентов при вероятности 95 процентов). Интуиция подсказывает, что это слишком большое количество и что вряд ли во всей партии будут находиться отрицательные пробы. Рассмотрим тот же случай, но теперь те же 2000 одинаковых таблеток находятся не в одной упаковке, а в четырех упаковках по 500 таблеток в каждой. Означает ли это, что нужно взять пробы четыре раза по 29 единиц, т. е. в общей сложности 116 проб? С чисто статистической точки зрения ответ, вероятно, будет положительным, а с практической точки зрения, по-видимому, отрицательным. С точки зрения экономичности, скорее всего, также отрицательным. Статистически верный подход будет заключаться в том, чтобы объединить эти четыре упаковки (что разрешается только в случае аналогичного материала), а затем произвести соответствующее взятие проб, но этот подход имеет свои недостатки.

Помимо взятия (многочисленных) проб мы рассмотрели вопрос о том, как обрабатывать большое количество проб в лаборатории. В некоторых лабораториях распространена практика проведения экспресс-теста на всех пробах, а затем, возможно, ТСХ на всех пробах или на целом ряде проб, после чего – если никаких различий не выявлено – все это завершается весьма селективным анализом лишь небольшого числа проб. Эта стратегия представляется разумной, но пока под нее не подведено прочной статистической базы. Тем не менее можно ожидать, что этот подход совместим с методом Байеса. Если это так, то большого объема лабораторной работы удастся избежать.

“Смешивание” проб можно охарактеризовать как приготовление единой смеси, состоящей из нескольких проб. Если смешивание можно произвести таким образом, чтобы в составе смеси был отражен весь состав проб, это представляется весьма эффективной стратегией, позволяющей сократить объем работы. Приготовление такой смеси вряд ли вызовет затруднения. Недостаток этого способа будет заключаться в относительной неоднородности смесей; смешивание, по определению, показывает усредненный результат и не дает информации об отдельном образце (хотя некоторого улучшения в этом смысле можно добиться благодаря предварительному исследованию с помощью экспресс-тестов).

Стратегии отбора проб должны быть довольно простыми с точки зрения их практического применения. При гипергеометрическом методе количество проб должно выбираться из таблицы, и решение приходится принимать, основываясь на каких-то непонятных факторах, если ожидается, что в одной или двух пробах наркотика содержаться не будут. Чем вызваны такие ожидания, также непонятно. По-видимому, это означает, что после того, как первая группа проб взята и проанализирована, в случае обнаружения отрицательных единиц будет произведен повторный отбор проб.

Такая процедура представляется довольно сложной и даже невозможной, если сразу же после взятия проб изъятый материал уничтожается. Кроме того, постоянное применение стандартной методики отбора проб, при которой ожидается наличие двух отрицательных результатов, приводит к увеличению количества проб (всегда 50–60); это число может показаться завышенным, т. к. почти во всех случаях отрицательные результаты отсутствуют. В случаях когда пробы берут сотрудники полиции или таможни, особенно желательно иметь понятные инструкции. С этой точки зрения таблицы или компьютерные программы менее привлекательны. Некоторые из коллег решили эту проблему, приняв инструкцию, которая требует всегда производить отбор конкретного количества проб (например, 25 единиц).

6. Существует ли оптимальная стратегия взятия проб?

В предыдущих главах рассмотрен ряд подходов к взятию проб и изложены различные соображения о соответствующих стратегиях. Однако из этих глав нельзя сделать вывод о том, какая стратегия является оптимальной и при каких условиях. Это объясняется влиянием целого ряда факторов, включая различия в типах наркотиков, объемы изъятий, цель расследования, опыт специалистов по химическому анализу наркотиков и судебных работников и материальные ограничения.

С учетом этого было решено воздерживаться от дачи каких-либо рекомендаций относительно стратегии взятия проб на национальном или региональном уровне. Соответствующий выбор следует производить из числа изложенных выше стратегий, при этом основная цель состоит в том, чтобы стратегия отвечала конкретным потребностям органов прокуратуры и судов в их конкретной ситуации, то есть с учетом связанных с этим расходов и лабораторных возможностей.

Рекомендации, касающиеся взятия проб при расследовании дел международного масштаба, изложены и пояснены в приложении I. Эти рекомендации основаны на стратегиях и аспектах, рассмотренных в настоящем документе, включая научные и практические аспекты.

7. Расчет веса и количества таблеток

При расчете интервала, в который с вероятностью $(1-\alpha)100\%$ попадает удельный вес единицы наркотика в совокупности, может применяться функция t -распределения Стьюдента со степенями свободы df (см. таблицу 6).

1. Применение

Применяя методику t -распределения Стьюдента, мы можем получить средний расчетный вес единицы наркотика в совокупности при заданном доверительном интервале $(1-\alpha)100\%$.

Таблица 6. Функция t -распределение Стьюдента

df	A		df	α	
	0,05	0,01		0,05	0,01
1	12,706	63,657	18	2,101	2,878
2	4,303	9,925	19	2,093	2,861
3	3,182	5,841	20	2,086	2,845
4	2,776	4,604	21	2,080	2,831
5	2,571	4,032	22	2,074	2,819
6	2,447	3,707	23	2,069	2,807
7	2,365	3,499	24	2,064	2,797
8	2,306	3,355	25	2,060	2,787
9	2,262	3,250	26	2,056	2,779
10	2,228	3,169	27	2,052	2,771
11	2,201	3,106	28	2,048	2,763
12	2,179	3,055	29	2,045	2,756
13	2,160	3,012	30	2,042	2,750
14	2,145	2,977	40	2,021	2,704
15	2,131	2,947	60	2,000	2,660
16	2,120	2,921	120	1,980	2,617
17	2,110	2,898	∞	1,960	2,576

Примечание: Критические значения уравнения для некоторых степеней свободы df и доверительного коэффициента α , равного 0,05 или 0,01.

Это можно выразить формулой

$$\bar{X} - \frac{s}{\sqrt{n}} t_{\alpha} \leq \mu \leq \bar{X} + \frac{s}{\sqrt{n}} t_{\alpha},$$

где:

μ = средний вес единицы наркотика в совокупности;

\bar{X} = средний вес единицы наркотика в пробе;

s = стандартное отклонение в измерениях;

n = объем пробы;

кроме того, t_{α} – критическое значение функции t -распределения Стьюдента со степенями свободы $df = n - 1$ при доверительном коэффициенте α (таблица 6).

На практике при определении доверительного интервала, необходимого для оценки веса единицы наркотика, можно использовать соответствующие компьютерные программы.

Согласно критерию приемлемости, принятому в общей практике, результаты взятых проб принимаются во внимание, если отношение стандартного отклонения s к среднему весу \bar{X} единицы наркотика в пробе составляет менее 0,1 ($RSD < 10\%$). В противном случае для достижения заданного процентного отношения требуется увеличить объем пробы. (Если это невозможно ввиду того, что вес образца не является переменной, полученной методом случайного распределения, мы можем быть вынуждены произвести взвешивание всего образца и более не прибегать к методике статистического вывода).

Общий вес образца (W) можно подсчитать, умножив на N среднее значение и стандартное отклонение, как показано ниже:

если $w = N\bar{X}$ и $\sigma = Ns$, то общий расчетный вес W равен:

$$w - \frac{\sigma}{\sqrt{n}} t_{\alpha} \leq W \leq w + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} t_{\alpha}.$$

Аналогичному подходу можно следовать при расчете общего веса запрещенного наркотика в образце, вычислив количество наркотика, содержащегося в каждой единице пробы.

Если в результате анализа единиц наркотика получено r отрицательных результатов, то для получения общего расчетного веса (положительного) образца наркотика используется поправочный коэффициент, $P_{corr} = \frac{n-r}{n}$, подставляемый в следующую формулу:

$$P_{corr} w - \frac{P_{corr} \sigma}{\sqrt{n-r}} t_{\alpha}^* \leq W \leq P_{corr} w + \frac{P_{corr} \sigma}{\sqrt{n-r}} t_{\alpha}^*.$$

Кроме того, для совокупности, в которой $\frac{n}{N} > 0,1$, следует применить еще

один поправочный коэффициент $Q_{corr} = \sqrt{\frac{N-n}{N}}$; тогда

$$P_{corr} w - Q_{corr} \frac{P_{corr} \sigma}{\sqrt{n-r}} t_{\alpha}^* \leq W \leq P_{corr} w + Q_{corr} \frac{P_{corr} \sigma}{\sqrt{n-r}} t_{\alpha}^*,$$

где t_{α}^* – критическое значение функции t -распределения Стьюдента со $(n - r - 1)$ степенями свободы (см. в печати Stoel и Bolck). Следует отметить, что в данном случае не учитывается неопределенность в значении P_{corr} , что могут существовать и более оптимальные доверительные интервалы (см. Alberink, Bolck и Stoel), и что расчетный вес можно также определять с применением байесовского метода (см. Aitken и Lucy, 2002).

Пример 1

Допустим, что образец предполагаемого героина содержится в 100 упаковках. Нам нужно рассчитать средний вес единицы наркотика в этой совокупности с вероятностью 95 процентов.

Согласно прикладному методу репрезентативной выборки, следуя примеру, приведенному в главе, посвященной гипергеометрическому распределению, берем пробу в количестве 23 единиц, каждая из которых взвешивается и анализируется.

Средний вес-нетто порошка в этих 23 единицах составляет $\bar{X} = 0,265$ г при стандартном отклонении s , равном 0,023 г. Так как погрешность составляет 8,7 процента, критерий допустимости соблюден.

Значение t_{α} , взятое из таблицы 6, составляет 2,074, поправочный коэффициент $Q_{corr} = 0,877$, а общий расчетный вес образца W :

$$(26,500 - 0,873) \text{ г} \leq W \leq (26,500 + 0,873) \text{ г}.$$

Если в результате анализа этих единиц наркотика получен один отрицательный результат, и по этой причине принимается решение снизить доверительный уровень и/или гарантированную долю положительных результатов, в этом случае при тех же значениях среднего и стандартного отклонения поправочный коэффициент составляет $P_{corr} = 22/23$,

$t_{\alpha}^* - 2,08$, а Q_{corr} по-прежнему составляет 0,877. Если для целей данного примера допустить, что значения \bar{X} и s остаются неизменными, то общий расчетный вес образца наркотика, давшего положительный результат, обозначается W_1 и находится в пределах:

$$(25,348 - 0,856) \text{ г} \leq W_1 \leq (25,348 + 0,856) \text{ г}.$$

Аналогичным образом, при получении двух отрицательных результатов поправочный коэффициент $P_{corr} = 21/23$, t_{α}^* равно 2,0860, а значение Q_{corr} по-прежнему составляет 0,877. В этом случае мы имеем:

$$(24,196 - 0,839) \text{ г} \leq W_2 \leq (24,196 + 0,839) \text{ г}.$$

Теория

С помощью теории t -распределения Стьюдента можно решать проблемы, связанные с расчетом среднего показателя какого-либо числа измерений n . Функция t -распределения Стьюдента со степенями свободы df имеет следующий вид:

$$f(t) = \frac{\Gamma\left[\frac{1}{2}(df + 1)\right]}{\Gamma\left(\frac{df}{2}\right)\sqrt{\pi df}} \left(1 + \frac{t^2}{df}\right)^{-\frac{1}{2}(df+1)}.$$

Если α – пороговый показатель, то значение t_{α} , согласно которому рассчитываемая вероятность между $-t_{\alpha}$ и t_{α} равна $1 - \alpha$, можно вычислить по следующего уравнению:

$$P_{\alpha} = 1 - \alpha = \frac{\Gamma\left[\frac{1}{2}(df + 1)\right]}{\Gamma\left(\frac{df}{2}\right)\sqrt{df\pi}} \int_{-t_{\alpha}}^{t_{\alpha}} \left(1 + \frac{t^2}{df}\right)^{-\frac{1}{2}(df+1)} dt.$$

Критические значения этой функции для некоторых величин df и α приведены в таблице 6.

2. Расчет количества таблеток

Расчет количества таблеток производится напрямую. Расчетное количество таблеток можно получить, разделив общий вес изъятого материала на примерный средний вес одной таблетки.

Справочная литература

- Aitken C. G. G., Sampling—How big a sample?, *Journal of Forensic Sciences*, JFSCA, 1999, 44(4), 750-760.
- Aitken C., Bring J., Leonard T., Papasouliotis O., Estimation of quantities of drugs handled and the burden of proof, *Statist. Soc.*, 1997, 160(2), 333-350.
- Aitken, C. G. G and Lucy, D. Estimation of the quantity of a drug in a consignment from measurements on a sample, *Journal of Forensic Sciences*, JFSCA, 2002, 47, 968-975.
- Alberink, I., Bolck, A., and Stoel, R.D. (submitted). Comparison of frequentist methods for estimating the total weight of consignments of drugs.
- Amraoui Y., Allio I., Garcia C., Perrin M., Echantillonnage et interprétation: application aux produits de saisie analysés par un laboratoire de toxicologie, *ATA*, 2001, vol. XIII, n° 4, 265-274.
- Azoury M., Grader-Sageev D., Avraham S., Evaluation of Sampling Procedure for Heroin Street Doses, *Journal of Forensic Sciences*, JFSCA, 1998, 43 (6), 1203-1207.
- Clark A. B, Clark C. B., Sampling of Multi-unit Drug Exhibits, *Journal of Forensic Sciences*, JFSCA, 1990, 35 (3), 713-719.
- Colon M., Rodriguez G., Diaz R. O., Representative Sampling of “Street” Drug Exhibits, *Journal of Forensic Sciences*, JFSCA, 1993, 38(3), 641-648.
- Coulson S. A., Coxon A., Buckleton J. S., How many Samples from a Drug Seizure Need to be analysed, *Journal of Forensic Sciences*, JFSCA, 2001, 46 (6), 1456-1461.
- Frank, R. S., Hinkley, S. W. and Hoffman, C. G., Representative Sampling of Drug Seizures in Multiple Containers, *Journal of Forensic Sciences*, JFSCA, 1991, 36 (2), 350-357.
- Masson (Ed.), *Initiation aux méthodes de la statistique et du calcul des probabilités*, Paris, 1996, 179-180.
- Miller J., *Statistics and chemometrics for analytical chemistry*, 4th Edition, Pearson education limited, Harlow, 2000.
- Stoel, R. D. and Bolck, A., A correction to Tzidony and Ravreby (1992): “A Statistical Approach to Drug Sampling: A Case Study”, *Journal of Forensic Sciences* JFSCA (in press).

Sutherland G., J., Sampling and Identifying Multiple Discrete Objects containing Drugs, Analog, *Australasian Forensic Drug Analysis Bulletin*, vol. 14, No. 1, January 1992, 9-12.

SWGDRUG, Sampling Seized Drugs for Qualitative Analysis, www.swgdrug.org

Tzidonoy D., Ravreby M., Statistical Approach to Drug Sampling: A Case Study, *Journal of Forensic Sciences*, JFSCA, 1992, 37(6), 1541-1549.

ЮНДКП, Рекомендуемые методы анализа незаконных замещенных по циклу производных амфетамина, ST/NAR/12, 1987 год.

ЮНДКП, Рекомендуемые методы анализа опия, морфина и героина, ST/NAR/29/Rev.1, 1998 год.

Приложение I

Инструкции по использованию программного обеспечения*

Данный программный продукт является прикладной программой Microsoft Excel 2000. Вам необходимо будет установить дополнительную настройку “Analysis ToolPak” (выберите Tools / Add ins... / Analysis ToolPak). Чтобы пользователи вводили данные только в конкретные ячейки, в программе включена функция “защиты” (без пароля). Эту функцию можно отключить, если вы хотите поэкспериментировать.

Excel может обрабатывать числа приблизительно до уровня $1E+308$. Если то или иное число (будь то конечный результат или промежуточные расчетные значения) превысит это значение, то произойдет ошибка переполнения и вместо результата появится сообщение об ошибке “#NUM”. Пользователи должны помнить об этом, когда имеют дело с крупными объемами веществ. Например, при исходных данных: 100 000 таблеток, доверительная вероятность – 0,99, $k = 0,99$, предположительное количество отрицательных единиц = 2 – программа выдаст ошибочный результат в отношении объема пробы. Ни одна лаборатория никогда не будет вводить такие нереалистичные значения. Но пользователям следует знать об ограничениях, свойственных этой программе.

Графики приводятся исключительно для наглядности. Шкала объемов пробы имеет диапазон от 1 до 100, поскольку большинство результатов приходится именно на этот промежуток.

Гипергеометрический метод отбора проб

- Лист Excel имеет пять закладок, которые можно увидеть внизу страницы (Instructions, Hypergeometric, Bayesian, Binomial and Estimation of Weight).
- Выберите закладку *Hypergeometric*.
- Выполняя шаги 1, 2, 3 и 4, введите нужные значения.
- Искомый объем пробы будет получен при выполнении шага 5 (ячейка B5).

В Excel в данном случае уравнение для функции гипергеометрического распределения имеет следующий вид:

$$P = \text{HYPGEOMDIST}((n - r), n, (N * k) - 1, N).$$

*Макрос для расчета, являющийся компонентом программного обеспечения ЕСИСМ для обработки данных по отобраным пробам, можно загрузить из раздела “Documents Publications” на веб-сайте www.enfsi.eu. Данный программный продукт утвержден.

Функция позволяет вычислить вероятность присутствия положительных единиц $n - r$ в пробе объемом n , отобранной из совокупности N , содержащей $N \cdot k - 1$ положительных единиц.

В случае предполагаемого отсутствия отрицательных единиц в пробе ($r = 0$):

Если P обозначает вероятность выявления n положительных единиц, то один $1 - P$ — это вероятность невыявления такого количества положительных единиц. Иными словами $1 - P$ обозначает вероятность выявления *по меньшей мере* одной отрицательной единицы. Значение объема пробы n выбирается таким образом, чтобы значение $1 - P$ превышало необходимый доверительный уровень $(1 - \alpha)$.

Примечание 1: Может возникнуть ситуация, когда отобран ряд проб, в которых, как предполагается, отсутствуют отрицательные единицы; но результат анализа одной из проб оказался отрицательным. Как в таком случае определить долю наркотикосодержащих единиц в общем объеме изъятия? Макрос позволяет подсчитать долю наркотиков и в таких условиях. (Примечание: в зависимости от настроек в вашей программе Excel десятичные значения могут отделяться от целых точкой или запятой)

Исходные условия:

Объем изъятия: 1000 таблеток

Доля положительных единиц = 0,9

Предположительное количество отрицательных единиц = 0

Доверительный уровень = 0,95

В этом случае необходима проба объемом 28.

Предположим, вы проанализировали эти 28 таблеток и одна из них дала отрицательный результат, в отношении какой доли общего объема изъятия вы все же можете с 95-процентной доверительной вероятностью утверждать, что она состоит из положительных единиц?

Шаг 1: Начните с исходной позиции. Прокрутите страницу вниз до появления на экране значения объема пробы 28. (На этом этапе значение вероятности составляет 0,951419384.)

Шаг 2: Измените значение “предположительного количества отрицательных единиц” с 0 на 1. (При этом значение вероятности для пробы объемом 28 сократится до 0,793866654.)

Шаг 3: Постепенно уменьшайте значение “доли положительных единиц”, до тех пор пока значение вероятности для пробы объемом 28 снова не достигнет или не превысит 0,95 (это происходит, когда $k = 0,84$).

Таким образом, мы можем с 95-процентной доверительной вероятностью утверждать, что положительные единицы содержат 84 процента общего объема изъятия.

Примечание 2: Расчеты в условиях наивысшей плотности распределения производятся с использованием только целых чисел. Поэтому если вводимое значение (или результат промежуточных вычислений) не является целым числом, то программа

округлит это значение до ближайшего целого числа в сторону уменьшения. Это может вызвать некоторые отклонения в объеме пробы, особенно в случае, когда объем совокупности небольшой. Например: для небольшой совокупности объемом, скажем, 12 таблеток (при $k = 0,5$ и $1 - \alpha = 0,99$) расчетный объем пробы равен 5, тогда как при увеличении объема совокупности до 13 объем пробы уменьшается до 4. В последнем случае (при $k = 0,5$) расчетное количество положительных единиц в совокупности составляет: $13 * 0,5 = 6,5$ таблеток. При расчете наивысшей плотности распределения значение 6,5 таблеток, естественно, не может быть использовано и поэтому оно округляется до 6. В этом случае объем пробы уменьшается, поскольку при наивысшей плотности распределения вероятность обнаружения по меньшей мере одной отрицательной единицы исчисляется только по 6 наркотикосодержащим таблеткам (вместо 6,5), отобранным из совокупности объемом 13 таблеток (на практике в данном случае в процессе округления значение k уменьшилось с 0,5 до 0,46).

Байесовский метод отбора проб

1. Выберите закладку *Bayesian*.
2. Выполняя шаги 1, 2, 3, 4, 5, 6, введите нужные значения.

Примечание 1: При вычислении значений функции бета-распределения объем совокупности не учитывается, но величину объема совокупности все же необходимо указать для того, чтобы программа могла определить, каким способом производить расчеты – по бета-распределению или по бета-биномиальному распределению.

Примечание 2: Выбор значений при выполнении шагов 2 и 3 (для a и b) будет зависеть от имеющейся у аналитика предварительной информации или предположений относительно величины θ .

3. Искомый объем пробы будет получен при выполнении шага 7 (ячейка B7).

$$N \geq 50$$

В Excel в данном случае уравнение для функции бета-распределения имеет следующий вид:

$P(\theta > k) = \text{BETADIST}(k, a + (n - r), b + r, \text{нижний предел для } k, \text{ верхний предел для } k)$.

$$N < 50$$

В Excel гамма-функцию $\Gamma(x)$ можно вычислить, используя следующую комбинацию функций рабочего листа *EXP* и *GAMMALN*:

$$\text{GAMMALN}(x) = \text{LN}(\Gamma(x))$$

Функция *EXP* является обратной по отношению к функции *LN*, и поэтому:

$$\text{EXP}(\text{GAMMALN}(x)) = \Gamma(x)$$

Эта функция включена в уравнение для определения бета-биномиального распределения, которое имеет следующий вид:

$$P(Y \geq y) = \frac{(\text{EXP}(\text{GAMMALN}(n+a+b)) * \text{COMBIN}(N-n, y) * \text{EXP}(\text{GAMMALN}(y+x+a)) * \text{EXP}(\text{GAMMALN}(N-x-y+b)))}{(\text{EXP}(\text{GAMMALN}(x+a)) * \text{EXP}(\text{GAMMALN}(n-x+b)) * \text{EXP}(\text{GAMMALN}(N+a+b)))}$$

Биномиальный метод отбора проб

1. Выберите закладку *Binomial*.
2. Выполняя шаги 1, 2, 3, введите нужные значения.
3. Искомый объем пробы будет получен при выполнении шага 4 (ячейка B4).

В Excel в данном случае функция биномиального распределения имеет следующий вид:

$$P = \text{BINOMDIST}(n - r, n, k, \text{FALSE})$$

Оценка веса

1. Выберите закладку *Estimation of Weight*.
2. Выполняя шаги 1–6, введите нужное значение.
3. Доверительный уровень указан в ячейках B12: D12.

Доверительный интервал рассчитывается следующим образом:

$$\text{Д.И.} = \text{средний вес} \pm t^*s / \sqrt{n}$$

В случае выявления в пробах каких-либо отрицательных единиц применяется поправочный коэффициент $(n - r)/n$, и уравнение приобретает следующий вид:

$$\text{Д.И.} = (\text{средний вес}) * (n - r)/n \pm (t^*s/\sqrt{(n - r)}) * (n - r)/n$$

В случае небольших совокупностей, при $n/N > 0,1$ применяется дополнительный поправочный коэффициент $\sqrt{((N - n)/N)}$ и в результате уравнение имеет следующий вид:

$$\text{Д.И.} = (\text{средний вес}) * (n - r)/n \pm (t^*s/\sqrt{(n - r)}) * (n - r)/n * \sqrt{((N - n)/N)}$$

Оценка количества таблеток

1. Выберите закладку *Estimation of Tablets*.
2. Выполняя шаги 1–5, введите нужные значения.
3. Оценочное количество таблеток будет указано в ячейке B9.

Приложение II

Отбор проб на национальном/региональном/лабораторном уровне*

Отбор проб является своего рода стратегией, и напряженность этой работы во многом зависит от конечного назначения результатов, изначально поставленных вопросов и конечных целей расследования. Почти все это определяется национальным законодательством и правовой практикой. Сами процедуры отбора проб четко не определены, и поэтому региональные силы полиции, суды и лаборатории могут разрабатывать свои собственные стратегии взятия проб. Отбор проб должен отвечать поставленной цели, т. е. удовлетворять заказчика, быть понятным, учитывать возможности лабораторий и быть экономичным. Кроме того, необходимо учитывать опыт работы по борьбе с местными рынками наркотиков. Общие правила взятия проб на региональном или национальном уровне редко дают успешные результаты. Иными словами, общая рекомендация относительно отбора проб по определению может обернуться взятием слишком малого или слишком большого количества проб; слишком малое количество проб может оказаться недостаточным, а слишком большое количество проб – это напрасная трата времени и денег. И наконец, общая рекомендация по отбору проб не может считаться лучше правил, установленных на национальном или региональном уровне.

В этой связи считается нецелесообразным рекомендовать какие-либо конкретные процедуры взятия проб для использования на национальном уровне. Выбор и разработка хорошо налаженной стратегии отбора проб, удовлетворительной и приемлемой для всех заинтересованных сторон (полиции, прокуратуры, судов) – это дело национальных органов. Однако при этом настоятельно рекомендуется документально оформить такую стратегию и при необходимости давать полиции и/или сотрудникам таможенных органов соответствующие письменные инструкции.

Отбор проб на международном уровне

В адрес ЕСИСМ поступила просьба рассмотреть вопрос о порядке отбора проб из крупных изъятий в явно международных случаях, например когда подозреваемые находятся в нескольких странах. Было сочтено необходимым разработать разумную стратегию, которая могла бы пользоваться широкой поддержкой лабораторий судебной экспертизы в странах ЕС и применяться как руководство для сотрудников полиции и таможенных органов.

В этом случае отправной точкой также является разработка стратегии отбора проб. Поскольку конечное назначение результатов взятия проб и последующего химического анализа неизвестно и в разных случаях может быть различным, рекомендовать можно лишь общую стратегию.

*Настоящий раздел основан на материалах презентации руководства ЕСИСМ по отбору репрезентативных проб наркотиков, с которой выступил председатель ЕСИСМ Ким Химберг перед РГ по сотрудничеству с полицией ЕС 26 ноября 2003 года.

Как отмечалось выше, единой стратегии на все случаи жизни не существует; и любая стратегия взятия проб фактически является компромиссом между уровнем совершенства и объемом работы и напрямую определяется конкретными потребностями. Поэтому нет такой единой стратегии, которая была бы полностью поддержана всеми участвующими сторонами. Несмотря на это, ЕСИСМ стремится найти такое решение, которое пользовалось бы максимально широкой поддержкой, и предоставляет отдельным европейским организациям возможность проводить дополнительные изыскания, когда они считают это целесообразным. В конкретных случаях судебные эксперты-химики должны разъяснить принципы взятия проб. Это особенно важно, когда применяются такие методы, как байесовская теория, которую неспециалистам будет, пожалуй, сложно понять.

Что касается стратегий отбора проб в международных случаях, то они:

- должны иметь основу, которую легко объяснить с точки зрения статистики;
- должны быть удобными и понятными, в том числе для сотрудников полиции и таможенных органов, которые будут ими руководствоваться;
- должны быть реалистичными и не должны приводить к увеличению рабочей нагрузки лабораторий (например, должны позволять осуществлять работу в приемлемые сроки);
- должны давать результаты, которые можно использовать в качестве доказательств в суде.

Исходя из этих требований при отборе проб из крупных изъятий в международных случаях рекомендуется придерживаться следующих минимальных стандартов:

- правоохранительные органы должны составлять подробные отчеты об изъятии (включая описание проб, присвоенные пробам номера, их вес, упаковка, происхождение, внешние признаки, внешний вид, их изображение и т. д.) для использования судебными экспертами и судом;
- следует применять такой метод отбора проб, в основе которого лежит байесовский или гипергеометрический подход, при 95-процентном доверительном уровне и 50-процентной доле содержания наркотиков (по меньшей мере в половине единиц).

Примечание 1: Это означает, что в случае когда наркотики предположительно содержатся во всех отобранных в качестве проб единицах, необходимо отобрать минимум пять проб.

Примечание 2: В случае если повторный отбор проб не представляется возможным, рекомендуется отобрать восемь проб. Это количество обусловлено тем, что среди этих проб может быть выявлена (хотя маловероятно) одна отрицательная проба. Однако даже в этом случае можно будет гарантировать, что 50 процентов упаковок содержат наркотики.

Примечание 3: Если состав материала вызывает некоторые сомнения, то рекомендуется отобрать по меньшей мере 11 проб. Это количество обусловлено тем, что среди этих проб может быть выявлено (хотя маловероятно) две отрицательные пробы. Однако в этом случае можно будет все же гарантировать, что 50 процентов упаковок содержат наркотики.

Примечание 4: Если лаборатория судебной экспертизы проводит взятие или дополнительный отбор проб из уже отобранных более крупных проб, количество проб может зависеть от конкретных результатов химического анализа. Для вычисления объема пробы могут быть использованы гипергеометрические или байесовские таблицы.

Подробное описание различных методов отбора проб изложено в документе “Руководство по отбору репрезентативных проб наркотиков”.



UNODC

Управление Организации Объединенных Наций
по наркотикам и преступности

Vienna International Centre, PO Box 500, 1400 Vienna, Austria
Tel.: (+43-1) 26060-0, Fax: (+43-1) 26060-5866, www.unodc.org