

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ИНСТИТУТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И, ФОТОСИНТЕЗА

**О. А. СОКОЛОВ, Т. В. БУБНОВА**

# **АТЛАС**

**РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НИТРАТОВ  
В РАСТЕНИЯХ**

ПУЩИНО • 1989

Проблема накопления избыточных количеств нитратов в растениях затрагивает широкий круг вопросов, касающихся механизмов поглощения, транспорта, метаболизма и распределения их в растительном организме. Эти же вопросы тесным образом связаны с видовыми и сортовыми особенностями возделываемых культур, с оценкой роли экологических и агротехнических факторов, с разработкой стандартов на содержание допустимых количеств нитратов в урожае и продукции, с разработкой эффективных технологий и приемов по уменьшению их уровня в продуктах питания и кормах. Знание закономерностей распределения нитратов в тканях и органах растений является также ключом к познанию механизмов перераспределения и запасания нитратов в ходе развития растений, позволяет разработать достоверные методы диагностики азотного питания растений и качества урожая.

В данном атласе представлены материалы по распределению нитратов в различных органах и их участках, в целом растении в процессе их роста. Исследование закономерностей распределения нитратов охватывает более 40 видов растений, занимающих важное место в жизни человека.

Атлас будет полезен широкому кругу читателей: биологам, химикам, агрономам, агрохимикам, растениеводам, селекционерам и технологам, студентам и аспирантам биологических и сельскохозяйственных специальностей.

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	4		
Нитраты в растениях . . . . .	7		
Распределение нитратов в растениях . . . . .	25		
✓ Арбуз . . . . .	26	— Пшеница озимая . . . . .	46
✓ Баклажан . . . . .	27	✓ Ревень . . . . .	47
✓ Горошек зеленый . . . . .	28	✓ Редис . . . . .	48
✓ Гречиха . . . . .	29	✓ Редька . . . . .	49
✓ Дыня . . . . .	30	✓ Репа . . . . .	50
✓ Кабачок . . . . .	31	✓ Салат . . . . .	51
✓ Капуста белокочанная . . . . .	32	✓ Свекла кормовая . . . . .	52
✓ Капуста краснокочанная . . . . .	33	✓ Свекла сахарная . . . . .	53
✓ Капуста цветная . . . . .	34	✓ Свекла столовая . . . . .	54
✓ Картофель . . . . .	35	✓ Сельдерей . . . . .	55
✓ Кориандр . . . . .	36	✓ Томат . . . . .	56
✓ Кукуруза . . . . .	37	✓ Тыква . . . . .	57
✓ Лен . . . . .	38	✓ Укроп . . . . .	58
✓ Лук-репка . . . . .	39	✓ Фасоль . . . . .	59
✓ Лук-перо . . . . .	39	✓ Хрен . . . . .	60
✓ Морковь . . . . .	40	✓ Чеснок . . . . .	61
✓ Овес . . . . .	41	— Шампиньон . . . . .	62
✓ Огурец . . . . .	42	✓ Шпинат . . . . .	63
✓ Патиссон . . . . .	43	✓ Щавель . . . . .	64
✓ Перец . . . . .	44	✓ Эстрагон . . . . .	65
✓ Петрушка . . . . .	45	➤ Ячмень . . . . .	66



## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из важных проблем, возникших как результат усиления антропогенной нагрузки на экосистемы, является проблема нитратов. Наряду с традиционным решением задач использования нитратного азота как источника азотного питания растений и оптимизации эколого-агрохимических условий, влияющих на формирование урожая и его качество, возникли вопросы экологических последствий аккумуляции нитратов в почве, воде, растениях, атмосфере, влияние их на здоровье человека.

Нитраты — неотъемлемая часть всех наземных и водных экосистем, поскольку процесс нитрификации, ведущий к образованию окисленной неорганической формы азота, является принципиальным механизмом, имеющим глобальный характер. В то же время с ростом интенсификации производства вообще и азотных удобрений, в частности, поступление неорганических соединений азота в природные воды, растения, а следовательно, и в организм человека все возрастает.

Тем не менее с физиологической точки зрения количество нитратов можно рассматривать как результирующую процессов поглощения, транспорта, ассимиляции и распределения, интенсивность которых определяется совокупностью почвенно-экологических условий, агротехнических и генетических факторов.

Растения — источник питания человека и животных, вот почему проблема загрязнения растениеводческой продукции нитратами, избыточное потребление которых может привести к ряду серьезных заболеваний, приобрела такую остроту в настоящее время.

Известно, что нитраты крайне неравномерно распределены по органам и тканям растения. Зная специфику их накопления и распределения в растении в стадии товарной зрелости, можно оценить степень их использования в питании человека. В настоящем атласе читатель найдет материалы по распределению нитратов в различных органах растений, играющих важную роль в жизни человека.

Авторы приносят благодарность канд. биол. наук В. А. Агаеву и канд. с.-х. наук А. В. Тимченко за выполненные анализы по распределению нитратов в органах ряда культур.



## **НИТРАТЫ В РАСТЕНИЯХ**

Природный цикл азота, имеющий глобальный характер, включает образование, транспорт и аккумуляцию нитратов в различных компонентах биосферы, среди которых одно из главных мест принадлежит растительному организму.

Основы учения об азотном питании растений были разработаны Д. Н. Прянишниковым (1945) и в дальнейшем развиты его учениками. Было показано, что аммонийная ( $\text{NH}_4^+$ ) и нитратная ( $\text{NO}_3^-$ ) формы азота равноценны, но их соотношение может быть обусловлено видовой спецификой, а также факторами окружающей среды. Так, на фоне калия растения лучше используют нитраты, на фоне кальция — аммоний; нитраты лучше усваиваются в кислой среде, тогда как аммоний — в щелочной. Но поскольку и амидная и аммонийная формы азота в почве подвергаются нитрификации, переходя в нитратную в течение 10—15 дней, то все-таки преобладающей формой минерального азота, поступающей в растения, являются нитраты. Надо отметить, что имеет место специфика в поведении различных форм азотных удобрений в почве и отзывчивости на них растений. Размеры аккумуляции нитратов достигают наибольшей величины при применении высоких доз азотных удобрений, но ответить определенно, насколько реальна и тесна взаимосвязь между количеством нитратов в растении и урожаем сельскохозяйственных культур, нельзя. В урожае основной продукции овощных и кормовых культур накапливается значительное количество нитратов, достигая 38—43 кг/га, причем на неудобренном фоне аккумуляция  $\text{NO}_3^-$  значительно ниже и варьирует в пределах 0,05—17,7 кг/га. Избыточное потребление азота удобрениями не только ведет к аккумуляции нитратов в растениях, но и способствует загрязнению водоемов, грунтовых вод остатками азотных удобрений. При существующем уровне применения азотных удобрений в СССР в пределах 50 кг/га, потери азота с внутрипочвенным стоком составляют всего 0,5—2,5 кг/га, достигая в случае применения высоких доз азота под овощные и технические культуры (115—175 кг/га) — 1,28—8,8 кг/га и не могут служить единственным источником загрязнения окружающей среды нитратами. Конкретная система применения азотных удобрений должна соответствовать почвенно-экологическим условиям, специализации севооборотов, чередованию культур, биологическим их особенностям, так как несоблюдение этих условий ведет к росту потери азота удобрениями. В то же время грамотное экономически эффективное и экологически рациональное применение азотных удобрений является важнейшим фактором улучшения экологической обстановки.

Азотный цикл в растении складывается из процессов поступления минеральных соединений азота через корни, транспорта их в надземную часть, ассимиляции



в высокомолекулярные соединения — белки. Если азот поступает в растения в нитратной форме, то уже в корнях идет его восстановление до аммония и включение в синтетические процессы.

Путь от нитрата до белка лежит через ряд последовательных стадий: нитраты восстанавливаются до нитритов, затем до аммиака, который, взаимодействуя с органическими кислотами, образует белки:



Каждая из стадий связана с деятельностью определенного фермента. Восстановление нитрата до нитрита индуцирует нитратредуктаза, активность которой зависит от внешней концентрации ионов  $\text{NO}_3^-$ . Между скоростью поступления нитрата и активностью нитратредуктазы существует принципиальная связь, хотя в ряде случаев такая связь отсутствовала.

Процессы метаболизма азота тесно связаны с циклом углерода в растении, в связи с чем отмечается суточная ритмичность в поглощении нитратов, связанная с процессами дыхания в корне. Усиленное поглощение нитрата связано с тем периодом суток, когда происходит отток ассимилятов из надземной части и дыхание корней усиливается. У растений различных семейств периоды максимального поглощения нитратов не совпадают: у пшеницы этим периодом является день, у кукурузы — ночь, горох отличается равномерным оттоком ассимилятов в течение суток, поэтому и поступление нитратов происходит равномерно.

На поглощение нитратов растением оказывает влияние световой режим: растения при высоком уровне освещенности поглощали нитратов больше, чем при низком, поскольку при максимуме освещенности имеет место максимальное иницирование активности нитратредуктазы и высокое обеспечение транспортных процессов энергетическими соединениями. Скорость восстановления нитратов в темноте составляла 46% от его восстановления на свету.

Поступление нитратов в растение связывают с несколькими механизмами: путем диффузии (пассивный перенос); против градиента электрохимического потенциала (активный перенос); активный перенос с затратой энергии АТФ при функционировании ионного насоса; с помощью белков-переносчиков.

Пути поступления аммония в растение несколько другие: он первоначально адсорбируется клеточной оболочкой, а затем, согласно существующей гипотезе, пассивно поступает в клетку растения по градиенту электрохимического потенциала.

Кроме того, корневые системы растений могут поглощать не только ионы, но и молекулы; установлено, что мочевины может поглощаться как в виде аммония после ее гидролиза, так и в молекулярной форме.



Поступившие в растения нитраты подвергаются немедленному восстановлению, конечным этапом которого, как было выяснено Д. Н. Прянишниковым, является глютаминовая кислота и ее амид-глютамин, который является также запасной, обезвреживающей аммиак формой. За счет процессов аминирования и дезаминирования возможен синтез многочисленных органических кислот и аминокислот.

Восстановление нитратов осуществляет нитратредуктаза, которая локализована в различных частях растения. При низком уровне нитратов в почве восстановление их осуществляется в одном органе, если активность фермента высока, при высоком уровне нитратов их ассимиляция осуществляется при участии фермента, локализованного во многих органах. Нитратредуктазная система не обладает безграничной способностью к восстановлению возрастающего потока нитратов. С повышением доз азотных удобрений активность нитратредуктазы растет до определенного предела, именно этим объясняется высокая аккумуляция нитратов в растении при избыточном азотном питании.

Образование нитратов может быть связано не только с внешними факторами, но и с процессами окисления избыточного количества аммония в растении. Значительная часть (10—14% от азота небелковых соединений), поступившего в вегетативные органы ячменя меченого аммонийного азота, окислялась до нитратной формы, что, по-видимому, связано не только с детоксикацией аммиака, но и может служить источником энергии. При накоплении аммиака в растении происходит интоксикация, которая влечет за собой нарушение обмена веществ, а окисление аммония до нитратов предотвращает отравление и позволяет сохранить азот в минеральной форме для дальнейшего использования в процессах ассимиляции.

Таким образом, существует несколько путей образования и накопления нитратов в растениях: нитраты накапливаются в результате чрезмерного потребления азота растением, когда поступление их преобладает над ассимиляцией; при несбалансированном с другими макро- и микроэлементами азотном питании; при снижении активности фермента нитратредуктазы; при прорастании семян вследствие гидролиза белков и накопления аммония, который при окислении переходит в нитратную форму. Это же происходит и при избыточном поступлении аммония, но в отличие от него нитраты могут быть извлечены из метаболического пула в результате перераспределения. Этим и объясняется безопасность нитратов для растений. При поступлении нитратов в клетку они перераспределяются в два фонда: цитоплазматический (активный) и вакуолярный (запасной) и участвуют в обменных процессах с неодинаковой скоростью. Соотношение фондов варьирует в широких

пределах и изменяется в зависимости от комплекса факторов, в том числе от условий минерального питания, видовых особенностей растения. Для листьев ячменя характерна высокая доля запасного фонда (19—28% от общего фонда), размеры которого могут изменяться при изменении уровня азотного питания, достигая 58% от общего количества в клетке. В то же время в листьях гречихи доля запасного фонда невелика — 3—9%. При азотном голодании синтез аминокислот осуществляется за счет нитратов запасного пула, благодаря которому возможно перераспределение нитратного азота и пополнение им метаболического пула.

Среди многих причин, обуславливающих накопление нитратов в растении, следует выделить следующие: видовая и сортовая специфика накопления нитратов; условия минерального питания; почвенно-экологические факторы. Зачастую факторы, способствующие накоплению нитратов в продукции.

Среди представителей высших растений выделяется группа семейств, аккумулирующих значительные количества нитратов. К ним относятся семейства амарантовых, маревых, зонтичных, сложноцветных, капустных, пасленовых. Среди семейств, охватывающих овощные культуры, наибольшей способностью к накоплению нитратов отличаются капустные, тыквенные, сельдерейные, пасленовые. Наибольшее количество нитратов накапливают редька белая, свекла столовая, салат, шпинат, редис (табл. 1); такие же культуры, как томаты, перец сладкий, баклажаны, чеснок, горошек отличаются низким содержанием нитратов.

Одной из причин видовой специфики накопления  $\text{NO}_3^-$  является несоответствие размеров поглощения нитратов из почвы и их ассимиляции растениями. По соотношению органического и минерального азота, поступающих с пасоккой (ксилемным соком) из корней растения условно можно разделить на три группы (табл. 2): нитратредуктаза локализована в корнях, обладает высокой активностью, поэтому восстановление нитратов и образование органических и азотсодержащих веществ происходит в корнях, откуда в надземную часть растения поступает в основном азот в органической форме; нитратредуктаза в корнях обладает низкой активностью, поэтому с ксилемным соком транспортируется в надземную часть в основном минеральный азот — нитраты, их восстановление идет в листьях, где локализован фермент с высокой активностью; нитратредуктаза в корнях и листьях обладает одинаковой активностью, поэтому в составе пасоки обнаруживаются и нитраты, и органические соединения азота.

Накопление нитратов различными культурами носит наследственно закрепленный характер т.е. они обладают сортовой спецификой, которая выявлена у ряда видов овощных и бахчевых культур (табл. 3).

пределах и изменяется в зависимости от комплекса факторов, в том числе от условий минерального питания, видовых особенностей растения. Для листьев ячменя характерна высокая доля запасного фонда (19—28% от общего фонда), размеры которого могут изменяться при изменении уровня азотного питания, достигая 58% от общего количества в клетке. В то же время в листьях гречихи доля запасного фонда невелика — 3—9%. При азотном голодании синтез аминокислот осуществляется за счет нитратов запасного пула, благодаря которому возможно перераспределение нитратного азота и пополнение им метаболического пула.

Среди многих причин, обуславливающих накопление нитратов в растении, следует выделить следующие: видовая и сортовая специфика накопления нитратов; условия минерального питания; почвенно-экологические факторы. Зачастую факторы, способствующие накоплению нитратов в продукции.

Среди представителей высших растений выделяется группа семейств, аккумулирующих значительные количества нитратов. К ним относятся семейства амарантовых, маревых, зонтичных, сложноцветных, капустных, пасленовых. Среди семейств, охватывающих овощные культуры, наибольшей способностью к накоплению нитратов отличаются капустные, тыквенные, сельдерейные, пасленовые. Наибольшее количество нитратов накапливают редька белая, свекла столовая, салат, шпинат, редис (табл. 1); такие же культуры, как томаты, перец сладкий, баклажаны, чеснок, горошек отличаются низким содержанием нитратов.

Одной из причин видовой специфики накопления  $\text{NO}_3$  является несоответствие размеров поглощения нитратов из почвы и их ассимиляции растениями. По соотношению органического и минерального азота, поступающих с пасоккой (ксилемным соком) из корней растения условно можно разделить на три группы (табл. 2): нитратредуктаза локализована в корнях, обладает высокой активностью, поэтому восстановление нитратов и образование органических и азотсодержащих веществ происходит в корнях, откуда в надземную часть растения поступает в основном азот в органической форме; нитратредуктаза в корнях обладает низкой активностью, поэтому с ксилемным соком транспортируется в надземную часть в основном минеральный азот — нитраты, их восстановление идет в листьях, где локализован фермент с высокой активностью; нитратредуктаза в корнях и листьях обладает одинаковой активностью, поэтому в составе пасоки обнаруживаются и нитраты, и органические соединения азота.

Накопление нитратов различными культурами носит наследственно закрепленный характер т. е. они обладают сортовой спецификой, которая выявлена у ряда видов овощных и бахчевых культур (табл. 3).

Таблица 1

**ПРЕДЕЛЫ СОДЕРЖАНИЯ НИТРАТОВ В ТОВАРНОЙ ЧАСТИ УРОЖАЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ**

Вид растения	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/кг сырой массы	Вид растения	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/кг сырой массы
Арбузы	40—600	Патиссоны	160—900
Баклажаны	80—270	Перец сладкий	40—330
Брюква	400—550	Петрушка (зелень)	1700—2500
Горошек зеленый	20—80	Ревень	1600—2400
Горчица салатная	1700—2500	Редька черная	1500—1800
Дыни	40—500	Редис	400—2700
Капуста белокочанная	600—3000	Репа	600—900
Капуста пекинская	1000—2700	Салат	400—2900
Капуста кольраби	160—2700	Свекла столовая	200—4500
Кабачки	400—700	Сельдерей	120—1500
Картофель	40—980	Тархун	1200—2200
Кориандр	40—750	Томаты	10—180
Кресс-салат	1300—4900	Тыква	300—1300
Лук зеленый	40—1400	Укроп	400—2200
Лук репчатый	60—900	Фасоль	20—900
Морковь	160—2200	Чеснок	40—300
Огурцы	80—560	Шпинат	600—4000
		Щавель	240—400

Таблица 2

**ЛОКАЛИЗАЦИЯ ВЫСОКОЙ НИТРАТРЕДУКТАЗНОЙ АКТИВНОСТИ  
В РАЗЛИЧНЫХ ОРГАНАХ РАСТЕНИЙ**

Орган с высокой НР-активностью	Виды растений
Листья	Дурнишник, бурачник, земляника, картофель, кабачки, кормовая свекла, клен, крестоцветные, лен, липа, морковь, редис, огурцы, салат, шпинат, сахарная свекла.
Корни	Брусника, горох, люпин, ель, груша, роза, слива, сосна, яблоня.
Листья и корни	Кукуруза, овес, пшеница, фасоль, ячмень.



Таблица 3

**СОРТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР  
С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ НИТРАТОВ В УРОЖАЕ**

Культура	Сорта	
	с низким содержанием нитратов	с высоким содержанием нитратов
Картофель	Премьера, Каспар, Мона Лиза, Олев, Витторини, Андо, Виллу, Сулев	Фанфаре, Адретта, Приекули, Лаймдота, Ансе
Морковь	Шантанэ, Бирючечутская, Пионер, Консервная	Артек, Лосиноостровская, Нантская
Капуста белокочанная	Зимовка, Подарок	Июньская, Белорусская, Амагер, Слава
Редис	Йгева, Масляный, Красный великан	Жара, Борчицка, Улотра, Рубин
Огурцы	Лель, Парад, Московский тепличный, Сюрприз	Конкурент, Садко, Дельфин, Молдавский, Апрельский
Томаты	Нистру, Утро, Факел	Глория, Колокольчик, Молдавский ранний
Шпинат	Фортена, Мокарес, Геркулес, Исполинский	Азербайджанский, Волгоградский, Виннинг, Виктория
Лук-порей	Бюрер	Прима
Дыни	Бешек, Ола-пучак, Гурбек, Гуляби	Калля-пули, Конга, Ассоте, Оби-навог
Ячмень	Луч	Абава
Кукуруза	Днепровская Силосная 1, Днепровский 247 МВ	Днепровский 255 МВ
Свекла столовая	Бордо	Египетская плоская

Таким образом, сортовые различия по накоплению нитратов могут быть обусловлены разной реакцией на условия окружающей среды и режимом минерального питания, а также генетически закрепленным уровнем нитратредуктазы, разной продолжительностью периода вегетации сортов.



Одной из причин сортовых и видовых различий в накоплении нитратов является физиологическая спелость растения к моменту уборки. Количество нитратов особенно велико в тех случаях, когда период товарной зрелости наступает раньше физиологического созревания. С возрастом содержание нитратов в растении снижается из-за уменьшения запасов минерального азота в почве, а также в связи с увеличением запасов ассимилятов, вовлекающих нитраты в метаболизм. Снизить количество нитратов можно путем подбора оптимальных условий уборки урожая с учетом почвенно-экологических факторов.

Причиной накопления нитратов в растениях служат не только биологические особенности возделываемых культур, но и условия минерального питания, отличающиеся большим разнообразием. Здесь огромная роль принадлежит правильному выбору доз азотных удобрений, а это возможно только с учетом исходных запасов минерального азота или азотминерализующей способности почвы, позволяющей учесть мобилизованный в ходе вегетации растений азот почвы.

Одной из причин накопления нитратов является также питание растений, несбалансированное основными элементами, при этом нарушается нормальный ход ассимиляции нитратов в растениях. Недостаток фосфора косвенно способствует накоплению нитратов, так как он стимулирует активность нитратредуктазы. Но единого мнения о влиянии фосфора на накопление нитратов нет. В одних случаях внесение фосфорных удобрений снижает уровень нитратов, в других случаях применение фосфора приводило к накоплению их.

Калий, участвуя в процессах углеводного обмена, косвенно влияет на синтез белков. При совместном внесении азота и калия в растении увеличивается содержание органического азота, а минерального (нитратов) снижается; подобная закономерность обнаружена на пойменной почве с капустой, морковью, столовой свеклой. В то же время в других случаях применение калийных удобрений повышало содержание нитратов в растении. Таким образом, одной из причин неоднозначного влияния фосфора и калия на накопление нитратов в растении является широкий спектр их доз, соотношений, а также различие запасов подвижных форм этих элементов в почвах.

Среди факторов внешней среды наибольшее влияние на содержание нитратов в растении оказывают влажность, свет, температура воздуха и почвы, которые, действуя в комплексе, усиливают или ослабляют друг друга.

Изменение влажности оказывает неоднозначное влияние на накопление нитратов. Интенсивное увлажнение почвы усиливает поглощение нитратов корнями, что в сочетании с пониженными температурами ведет к избыточному накоплению

нитратов. С другой стороны, высокий уровень нитратов в растении в засушливые периоды можно снизить поливами овощных культур, так как они стимулируют рост, а также способствуют частичному вымыванию нитратов из верхних горизонтов почвы.

Влияние света на накопление нитратов обусловлено изменением активности нитратредуктазы. Увеличение интенсивности света, достаточно низкие температуры и умеренное азотное питание приводят к снижению содержания нитратов в растениях. Таким образом, содержание нитратов в растении определяется особенностями реакции видов и сортов растений на условия минерального питания и факторами окружающей среды.

Пути регуляции содержания нитратов в растениях включают комплекс агрохимических, технологических, селекционно-генетических и санитарно-гигиенических мероприятий.

В связи с тем, что одним из факторов накопления нитратов в растении является избыточное азотное питание при применении высоких доз азотных удобрений, можно предложить использование таких доз удобрений, при которых уровень нитратов не достигал бы высокого значения. Этого можно достигнуть применением доз удобрений, которые обеспечивают урожай растений на 5—10% ниже максимального.

Оптимизация доз азотных удобрений возможна при учете запасов минерального азота и величины азотминерализующей способности почвы перед применением удобрений.

Снизить содержание нитратов можно путем применения медленнодействующих форм удобрения, таких как мочевиноформальдегидное удобрение, протопил, изобутилдендимочевина, применение которых снижает содержание  $\text{NO}_3^-$  в листовых овощах в 5—10 раз, а также путем покрытия гранул капсулами, защитными пленками. Это снижает скорость растворения туков и обеспечивает равномерное снабжение азотом растения в течение всей вегетации.

Эффективным средством снижения содержания нитратов в растении являются ингибиторы нитрификации (сероуглерод, дициандиамид-дидин, КМП), использование которых даже при высоком уровне содержания азота в почве эффективно снижало количество нитратов в урожае зеленых овощей и редиса.

Существует технологический путь решения «нитратной» проблемы — локальное применение азотных удобрений под овощные, кормовые культуры. При этом способе внесения дозу азота можно сократить на 25—30% по сравнению с разбросным, при этом уровень продуктивности не снижается, а зачастую и повышается. Это объясняется тем, что в месте внесения азота образуется очаг повышенной



концентрации аммония, который замедляет нитрификацию на 3—5 недель. Преимущественное использование растениями аммонийного азота позволяет полнее использовать его на построение белков и тем самым снижать аккумуляцию нитратов. При локальном внесении азотных туков количество нитратов у зеленых культур и редиса снижалось на 9—58%, у кукурузы, свеклы кормовой — на 10—40% по сравнению с разбросным внесением тех же доз азота.

Кроме того, в практике все большее распространение должны получить сорта с низкой способностью к накоплению нитратов, это может стать основой для улучшения биологического качества растениеводческой продукции. Этот путь наиболее целесообразен при выращивании овощей с коротким периодом вегетации (редис, листовые овощи), отличающихся повышенной способностью к накоплению нитратов.

В снижении содержания нитратов в овощной продукции может помочь выбор оптимальных сроков уборки урожая. Так, уборку листовых овощей следует проводить в вечерние часы, так как в это время в них содержится на 30—40% меньше нитратов.

Видовые различия растений по накоплению нитратов зачастую обусловлены локализацией нитратов в отдельных органах растений. Выяснение особенностей локализации нитратов в разных органах и тканях представляется важным как для понимания механизмов перераспределения и запасаения нитратов в ходе онтогенеза, так и диагностики качества продукции овощных и кормовых культур.

Уровень нитратов в черешках значительно (в 1,5—4 раза) превышает их количество в листовой пластинке. В генеративных органах нитраты отсутствуют или содержатся на более низком уровне, чем в вегетативных, а количество нитратов в корне, стебле и черешках листьев значительно выше, чем в листовой пластинке (табл. 4).

Меньшее количество нитратов по сравнению с листьями и черешками салата содержится в корнеплодах и клубнях, среди этого типа органов меньше нитратов содержат луковицы. В плодах культур из семейства тыквенных и капустных содержится до 3000 мг/кг  $\text{NO}_3$ , тогда как у бобовых этот уровень не превышает 100 мг/кг.

Нитраты практически отсутствуют в зерне злаковых культур и в основном сосредоточены в вегетативных органах (лист, стебель) и в сочных плодах овощных и бахчевых культур. Такая неравномерность в распределении нитратов, по всей видимости, связана с неодинаковой скоростью транспортных и синтетических процессов в различных органах растений.

Большее количество нитратов содержится у основания листа кормовой капусты,



чем в его верхушке. Черешки листьев отличаются более высоким содержанием нитратов, чем листовые пластинки.

Количество нитратов в различных органах растений зависит также от возраста растений. Как правило, молодые органы содержат повышенное количество нитратов вследствие более активного их поступления по сравнению с процессами ассимиляции. Однако известны случаи, когда зрелые листья овса и шпината содержали больше нитратов, чем молодые.

Таблица 4

#### СОДЕРЖАНИЕ НИТРАТОВ В РАЗЛИЧНЫХ ОРГАНАХ И ЧАСТЯХ РАСТЕНИЙ

Вид растения	Орган	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/кг сырой массы
Свекла столовая	лист	1300—2000
	корнеплод	220—3000
Морковь	лист	600—1500
	корнеплод	10—1200
	черешок	1700—3000
Петрушка	лист	1300—1900
	черешок	1700—2600
	корнеплод	1700—5700
Укроп	лист	40—400
	черешок	800—1600
	стебель	1300—2100
	корень	1300—1600
Картофель	лист	20—400
	стебель	40—1100
	клубень	40—1000

Таким образом, накопление нитратов в целом растении и в пределах одного органа происходит крайне неравномерно. Физиологической причиной неравномерного распределения нитратов по органам является неодинаковая активность нитратредуктазы в корнях и надземных органах растений.

Однако неравномерное распределение нитратов в растении, по-видимому, невозможно объяснить только активностью нитратредуктазы — фермента, участвующего в их разрушении, поскольку способность ткани накапливать нитраты связана с целым комплексом факторов, как внутренних, так и внешних. Локализация нитратов в отдельных частях органа или ткани может быть вызвана низкой активностью нитратредуктазы в зонах их накопления, разной «специализацией» тканей,



выполняющих транспортную или синтетическую функции, непропорциональным поступлением нитратов в запасной и активный фонды и задержкой их переноса из запасного фонда к месту их восстановления.

Поскольку проводящие участки содержат повышенное количество нитратов, то степень неравномерности их распределения зависит от того, какую долю в органе занимают проводящие сосудисто-волоконистые пучки по сравнению с другими тканями. Неравномерное распределение нитратов связано не только с разной скоростью их передвижения в сосудисто-проводящих системах к месту восстановления, но и от способности нитратов активно перераспределяться в окружающие эту систему ткани.

Еще об одной стороне распределения нитратов необходимо сказать особо. Зная зоны различных органов с повышенным содержанием нитратов, используемые в пищу, можно существенно снизить количество нитратов, поступающих в организм человека и животных.

Различные факторы оказывают неодинаковое действие на распределение нитратов в органоидах клетки, тканях, органах и в целом растении. В связи с этим представляет интерес, каким образом действуют те или иные условия жизни растений на распределение и перераспределение нитратов в процессе вегетации и в отдельные периоды. Среди факторов условия минерального питания необходимо выделить отдельно.

Удобрения оказывают неодинаковое воздействие на накопление нитратов в отдельных органах растения. Согласно нашим данным, с увеличением доз азотных удобрений содержание нитратов в большей степени возрастает в стеблях цветной капусты, чем в ветвях соцветий и цветках. При повышении доз азота количество нитратов в черешках листьев растет сильнее, чем в листовых пластинках сахарной свеклы. Также в большей мере возрастает накопление нитратов в кончике корнеплода редиса, чем в средней его части. С повышением доз азотных удобрений более заметно растет количество нитратов в мякоти плодов огурца, менее заметно — в его кожице.

Теперь мы подошли к тому моменту, когда необходимо рассмотреть в каждом конкретном случае распределение нитратов в различных органах, частях и в целом растении. Это необходимо сделать в той последовательности, в какой они представлены в атласе с тем, чтобы можно было представить, с одной стороны, многообразие, а с другой, — понять универсальность этого явления, ибо только на таком примере представляется единство и противоречие процессов, определяющих качественное состояние как растения, так и среды в целом.

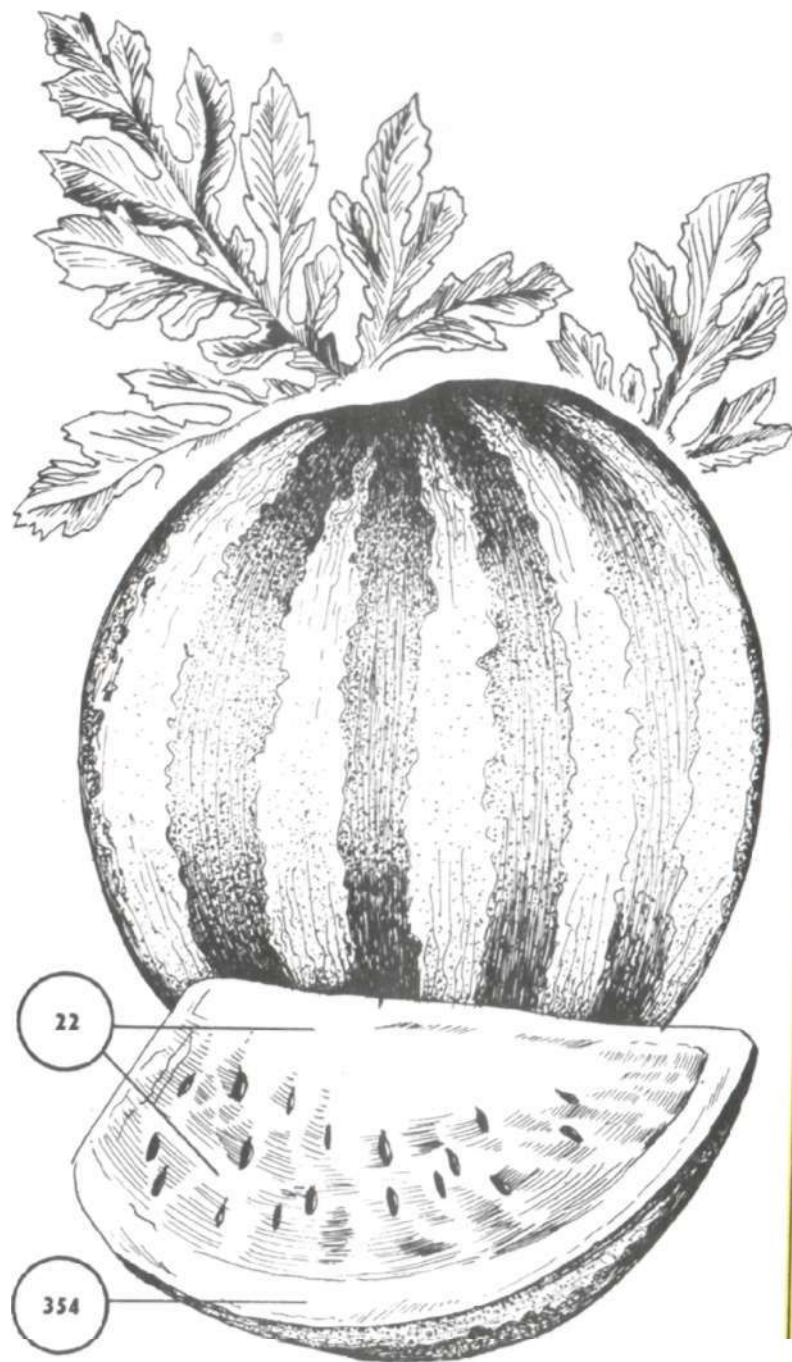




## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НИТРАТОВ В РАСТЕНИЯХ**

## АРБУЗ

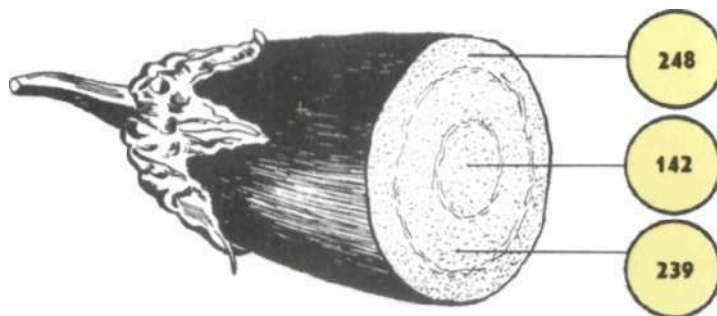
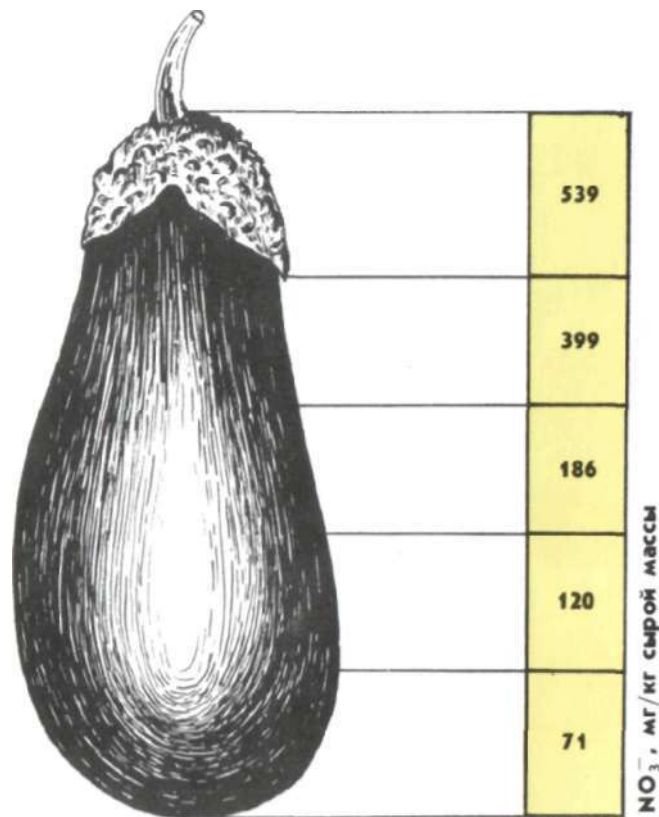
*Citrullus edulis*



В мякоти плодов арбуза нитраты распределены равномерно, однако наибольшее их количество содержится в кожуре (более чем в 15 раз).

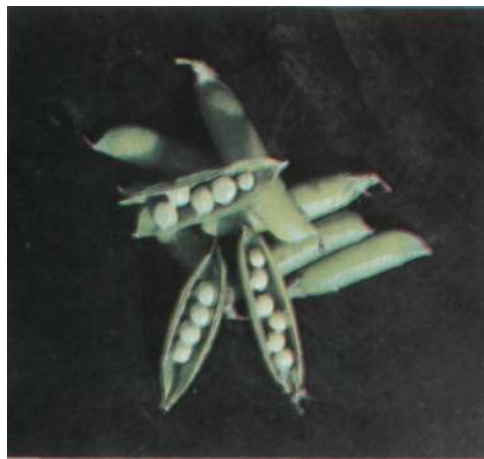
## БАКЛАЖАН

*Solanum melongena*

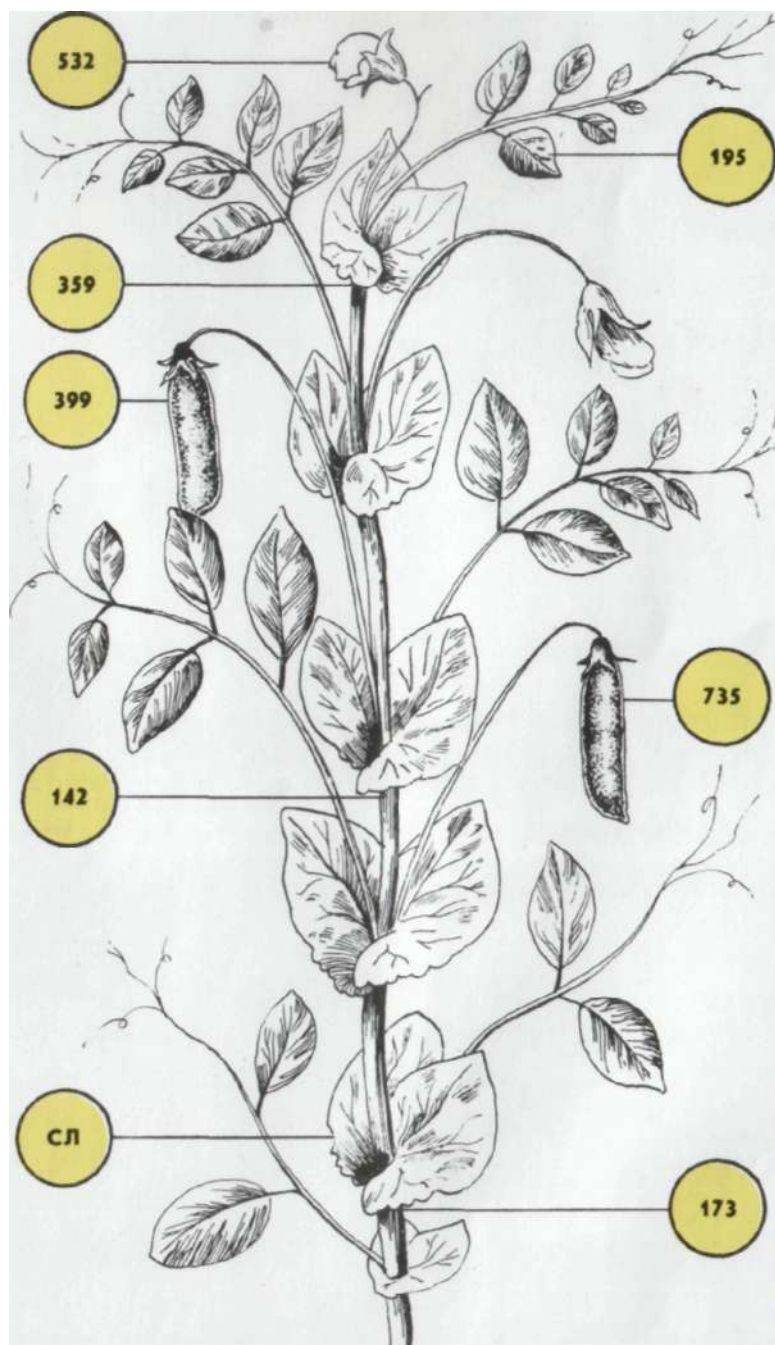


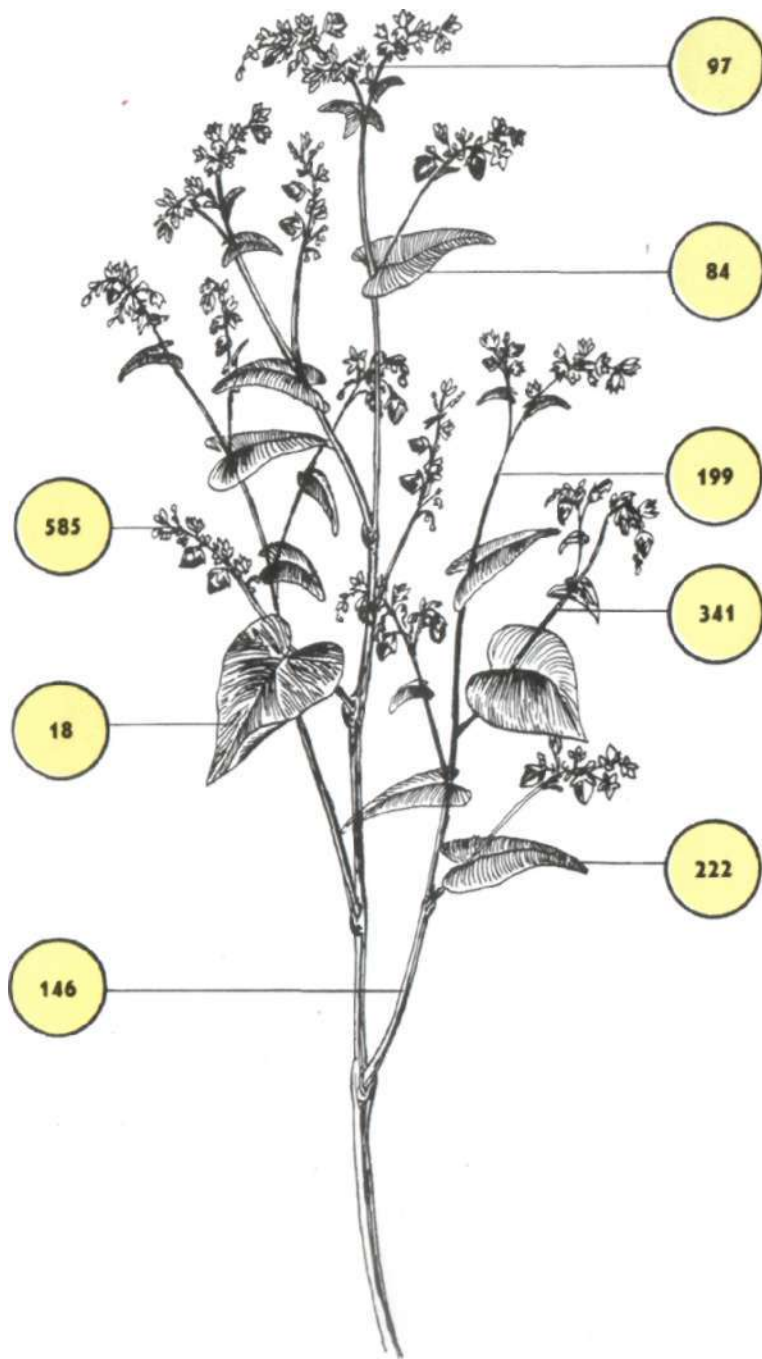
Количество нитратов в плодах баклажанов убывает от плодоножки к их верхушке. В центре плодов и в кормовой части содержится повышенное количество нитратов, тогда как в мякоти — минимальное.

**ГОРОХ ОВОЩНОЙ**  
*Pisum sativum*



Наибольшее количество нитратов содержится в молодых плодах гороха. Их содержание растёт по стеблю снизу вверх. Верхние усики содержат большее их количество по сравнению с нижними. Листья содержат нитратов немного.





## ГРЕЧИХА

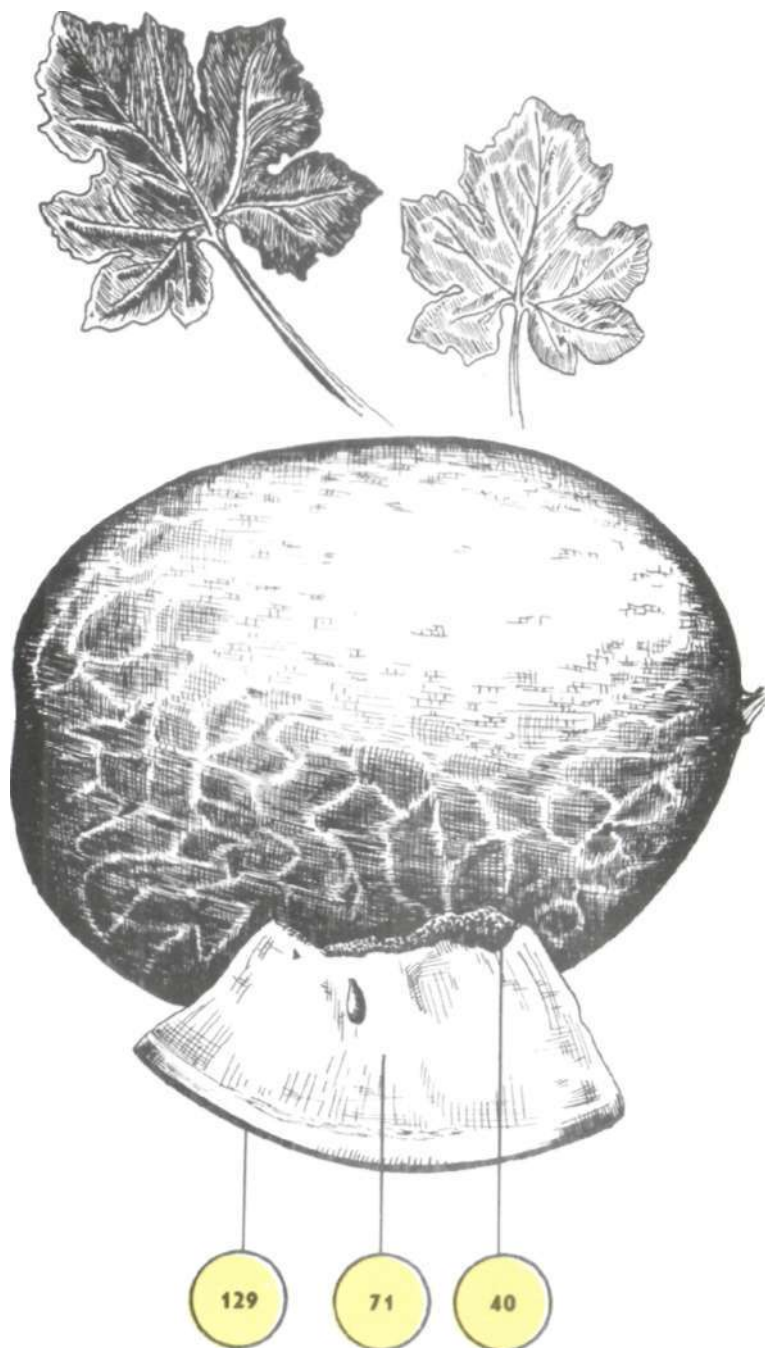
*Fagopyrum sativum*



Наибольшим содержанием нитратов отличаются стебли растений, меньшим — листья, соцветия занимают промежуточное положение. Количество нитратов в стебле растёт снизу вверх.

# ДЫНЯ

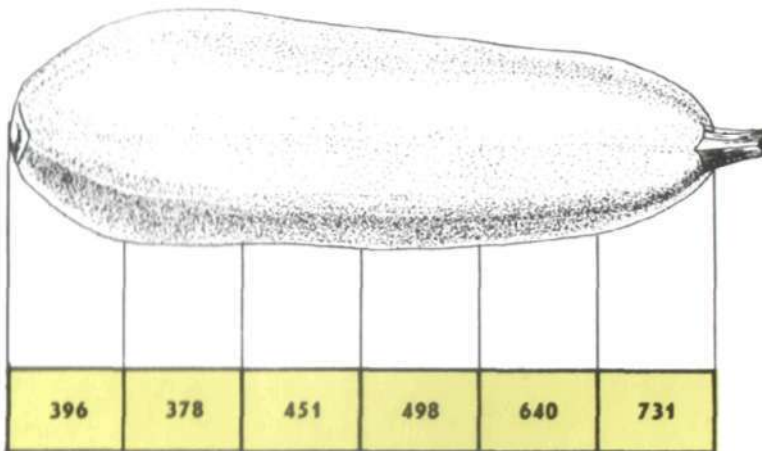
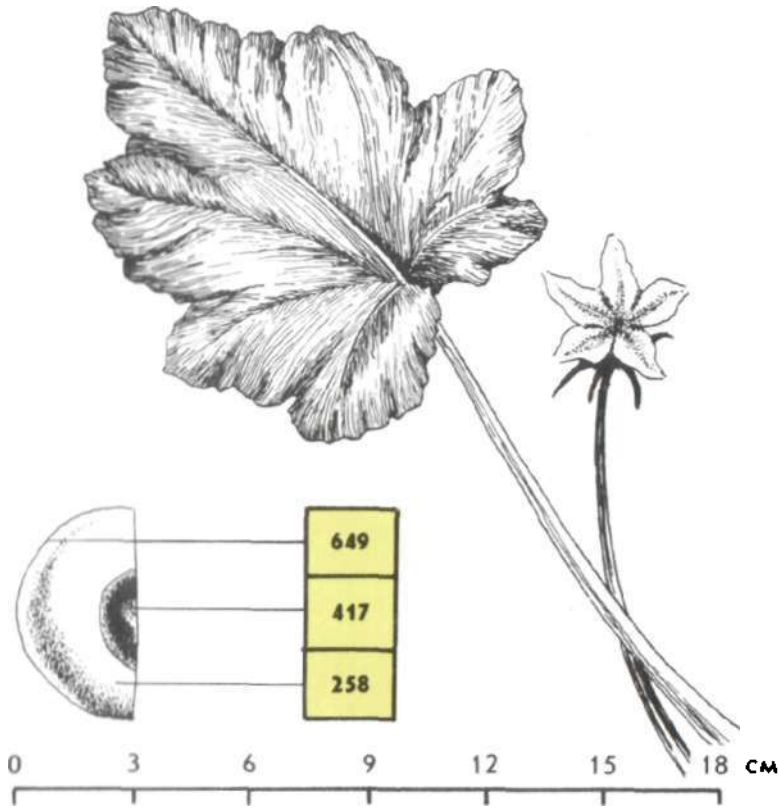
*Cucumis melo*



Минимальное количество нитратов находится в семенной камере плодов.

# КАБАЧОК

*Cucurbita pepo*



NO<sub>3</sub>, мг/кг сырой массы

Овощи из семейства тыквенных характеризуются повышенной способностью к накоплению нитратов. Установлено, что содержание нитратов азота в плодах кабачков уменьшается от плодоножки к его верхушке, а у патиссона — от периферической зоны к центру. Семенные камеры культур отличаются более низким содержанием, чем мякоть или кора.

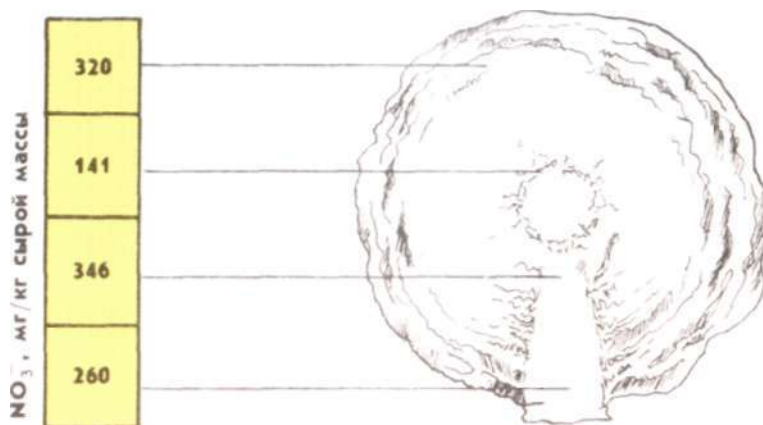
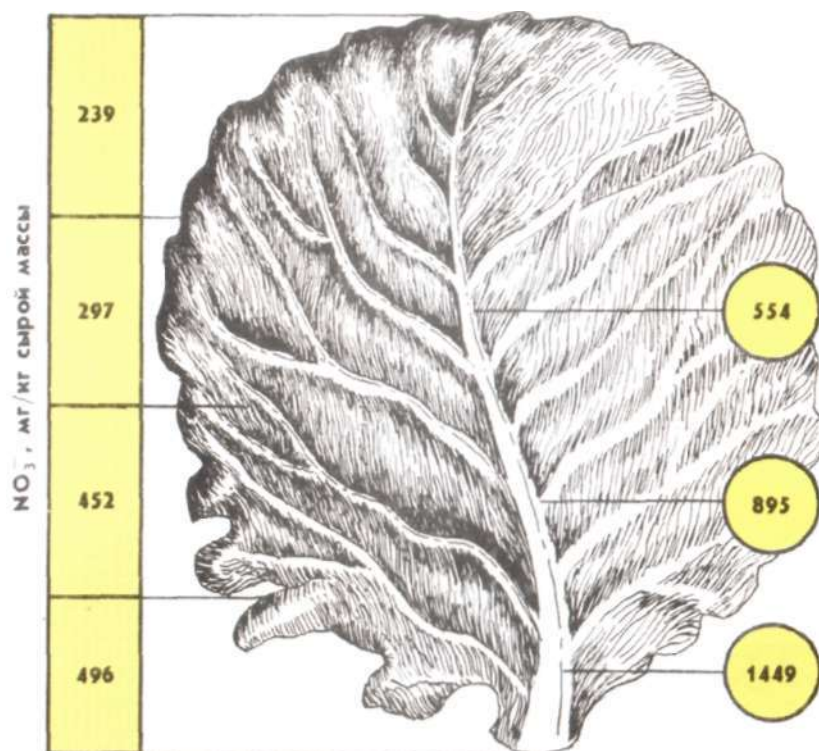


# КАПУСТА БЕЛОКОЧАННАЯ

*Brassica capitata*

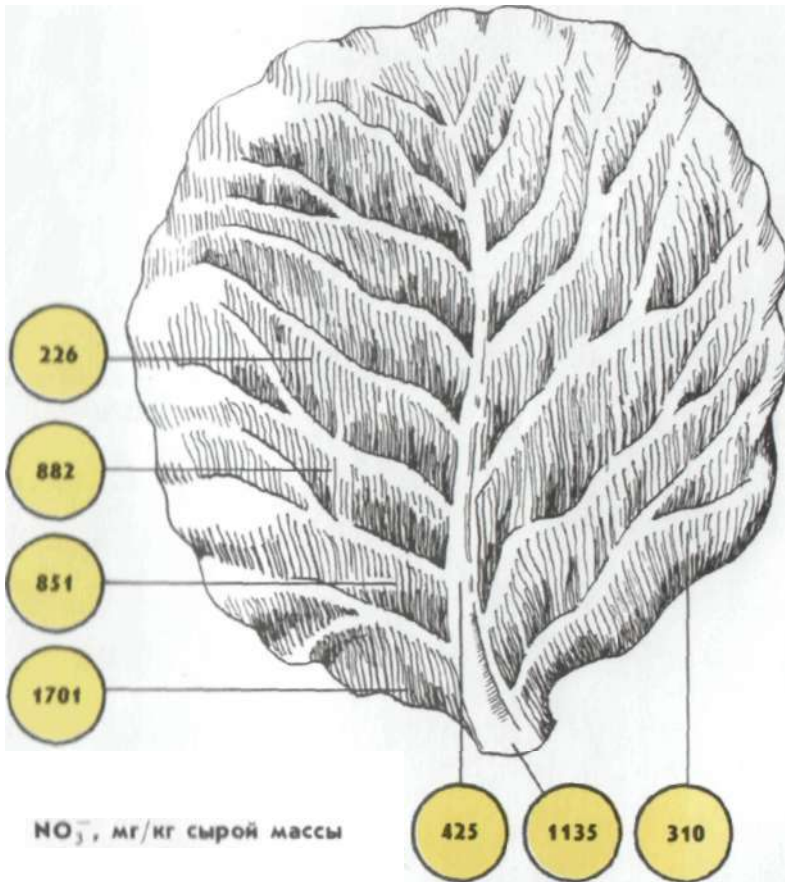


В белокочанной капусте наибольшее количество нитратного азота находится в верхушке стебля. Верхние листья кочана содержат примерно в 2 раза больше нитратов, чем внутренние. Внутренние и внешние листья кочана содержат в 4,5 раза больше нитратов, чем средние. В жилке листа нитратов в 2—3 раза больше, чем в тканях листовой пластинки. Количество нитратов убывает от основания к верхушке листа.



## КАПУСТА КРАСНОКОЧАННАЯ

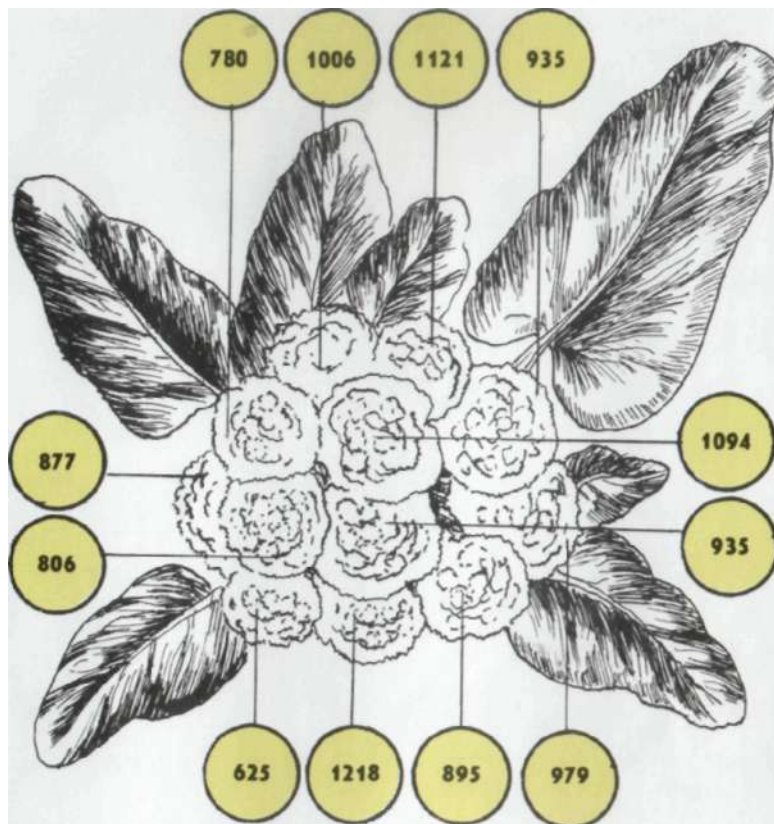
*Brassica capitata*



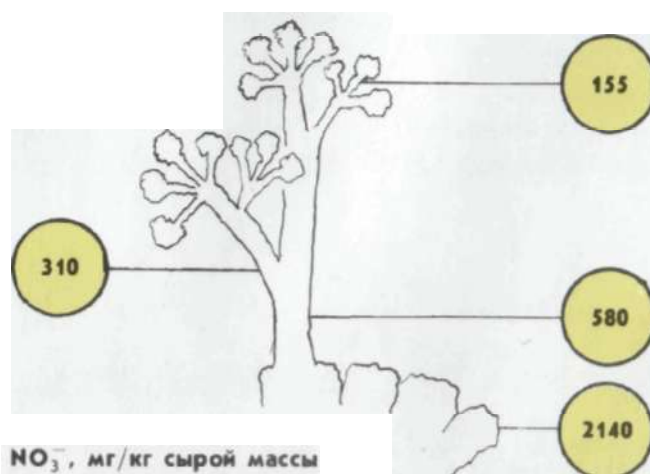
Максимальное количество нитратов находится в кочерыжке и в жилках нижних листьев. Содержание нитратов в кочане убывает от периферии к центру. В верхушке стебля содержится меньше нитратов, чем в основании стебля.

## КАПУСТА ЦВЕТНАЯ

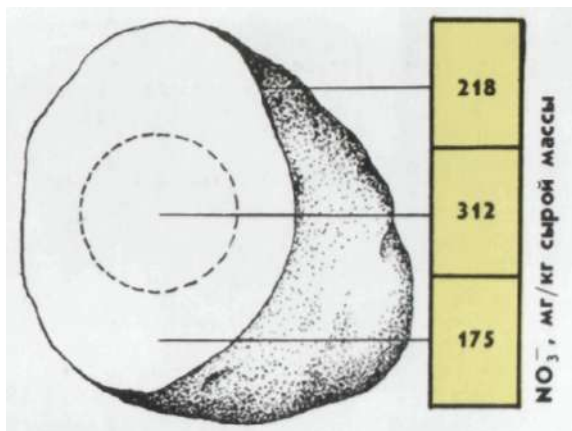
*Brassica cauliflora*



Минимальное количество нитратов содержится в цветках. Их количество в цветоножках возрастает по мере приближения к стеблю, причем довольно существенно (более чем в 4 раза).



NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, мг/кг сырой массы

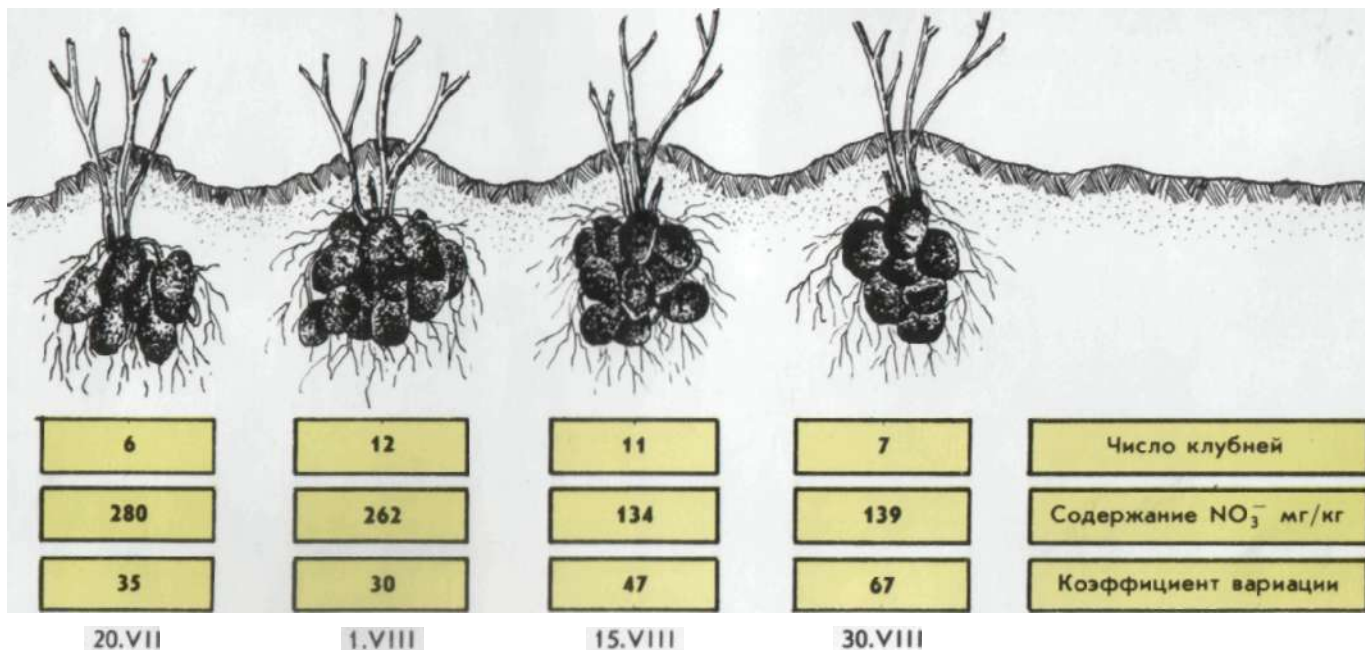


## КАРТОФЕЛЬ

*Solanum tuberosum*

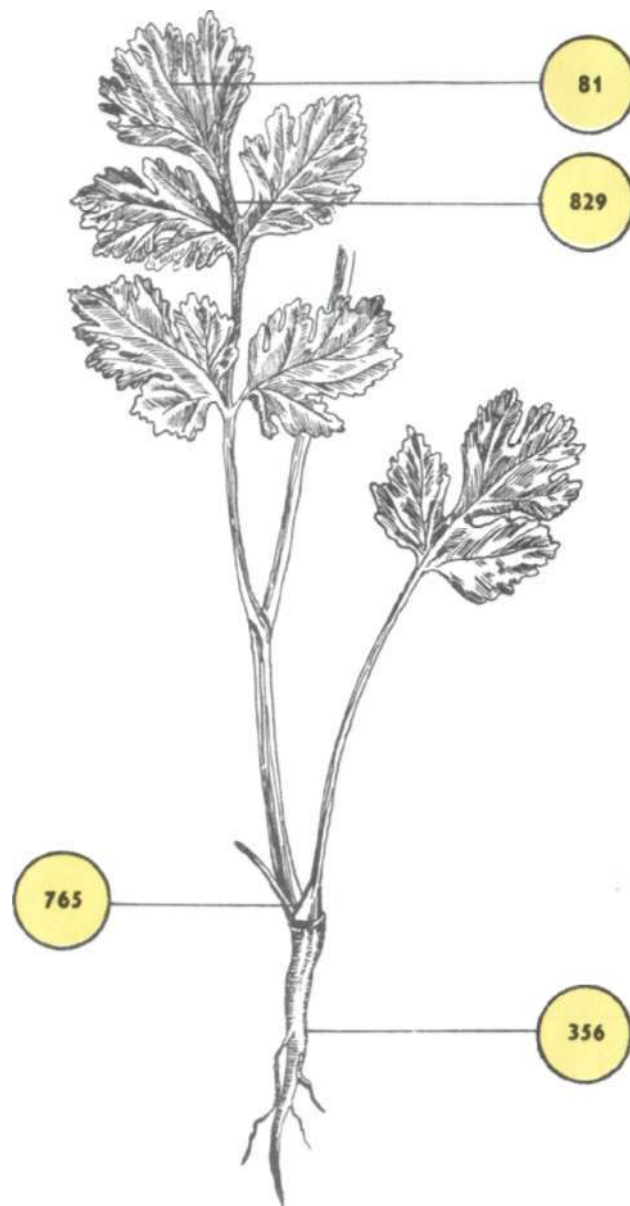


В клубнях картофеля низкий уровень нитратов обнаружен в мякоти. В кожуре и сердцевине содержится в 1,1—1,3 раза больше нитратов. В процессе роста среднее количество нитратов в клубнях одного куста снижается, однако коэффициент вариации содержания их в каждом отдельном клубне растет к периоду физиологической спелости урожая.



## КОРИАНДР

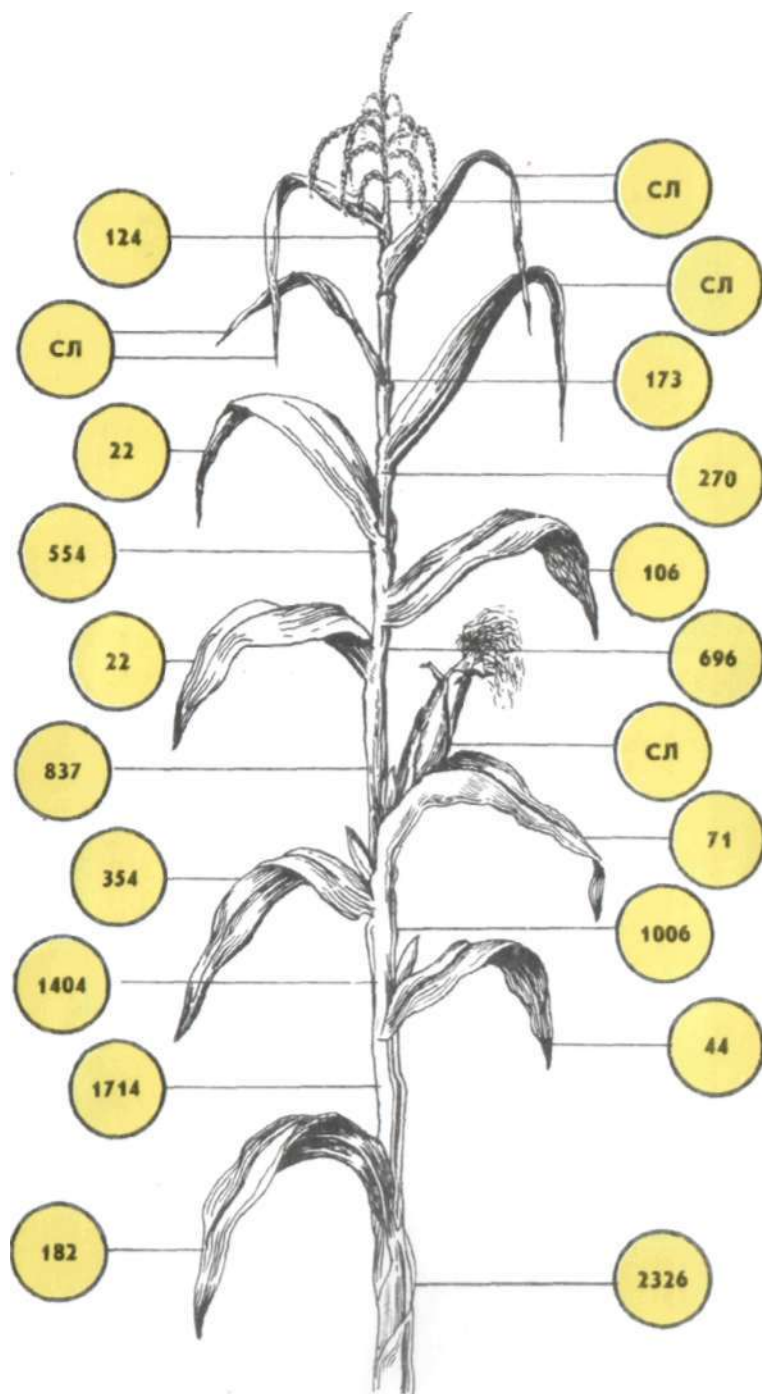
*Coriandrum sativum*



Черешки листьев содержат наибольшее количество нитратов, несколько меньше — в стеблях. Примерно в 2 раза их меньше в корнях. Примерно в 10 раз (по сравнению с черешками) меньше нитратов в листовых пластинках.

## КУКУРУЗА

*Zea mays*



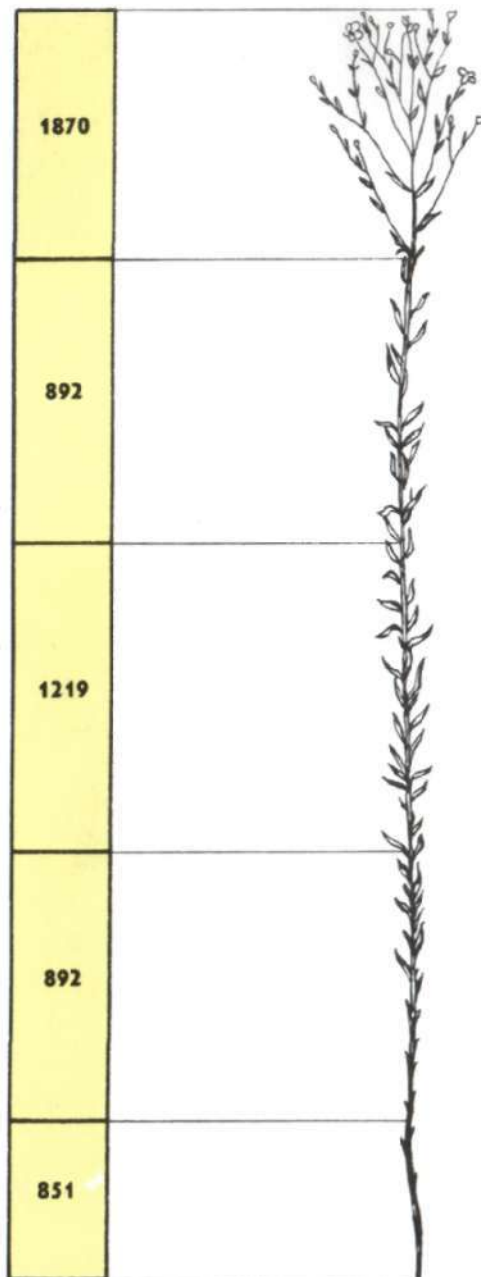
Количество нитратов в стебле убывает от основания к его верхушке до следовых количеств в султанах. Нижние листья содержали больше нитратов, чем верхние. Также малое количество нитратов содержали обертки початков.

## ЛЕН

*Linum usitatissimum*



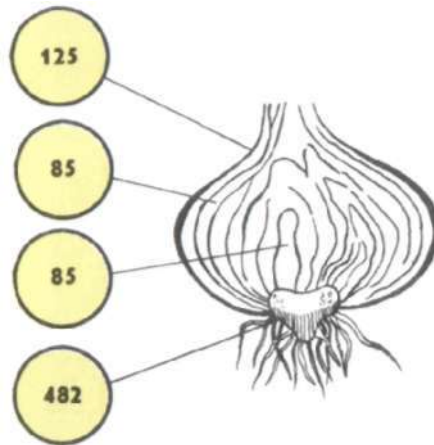
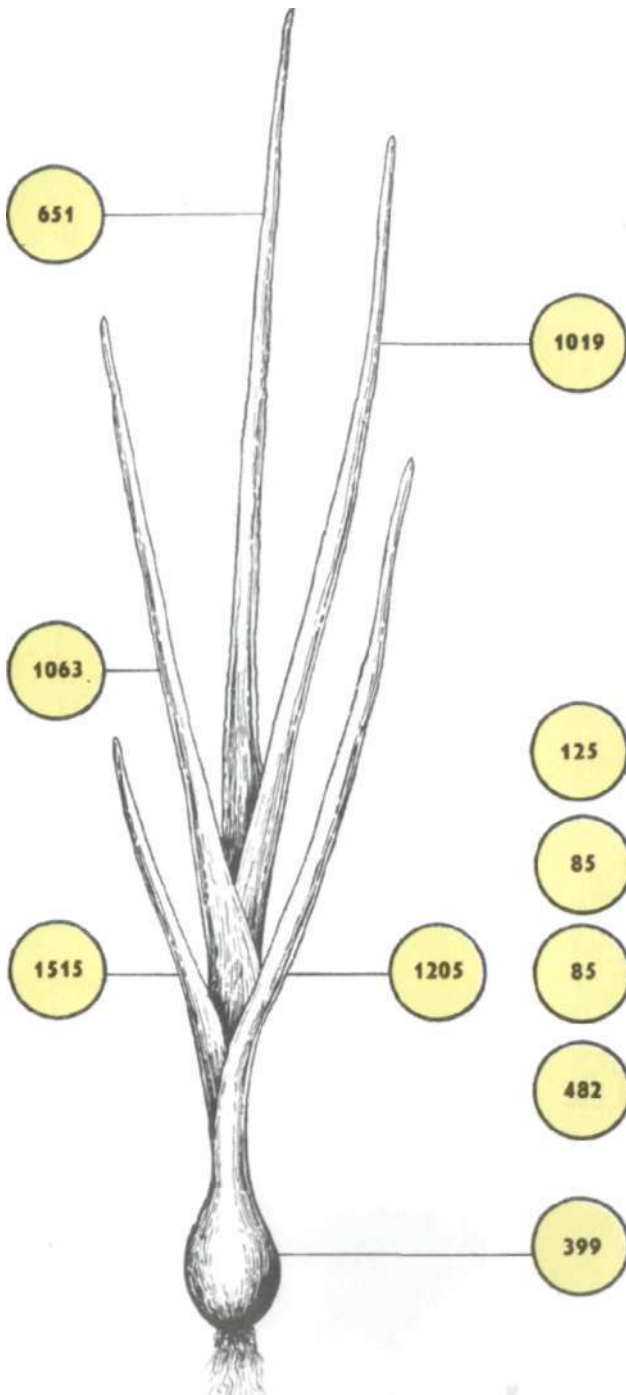
$\text{NO}_3^-$ , мг/кг сырой массы



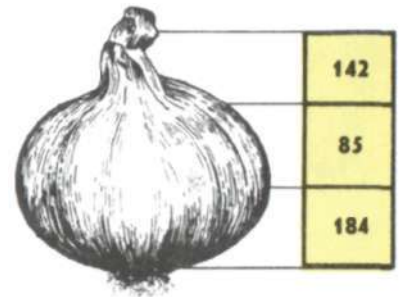
Минимальное содержание нитратов характерно для основания стебля, затем оно возрастает в его верхушке.

# ЛУК

*Allium cepa*



$\text{NO}_3^-$ , мг/кг сырой массы



Наименьшее количество нитратов содержится в средней части луковицы, тогда как в верхней и нижней части их содержание выше примерно в 2 раза. Наибольшее их содержание в донце луковицы. У зеленого лука зона стебля над луковицей содержит наибольшее количество нитратов.

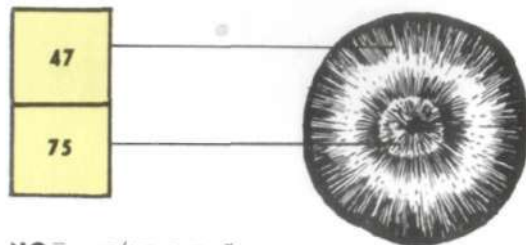


# МОРКОВЬ

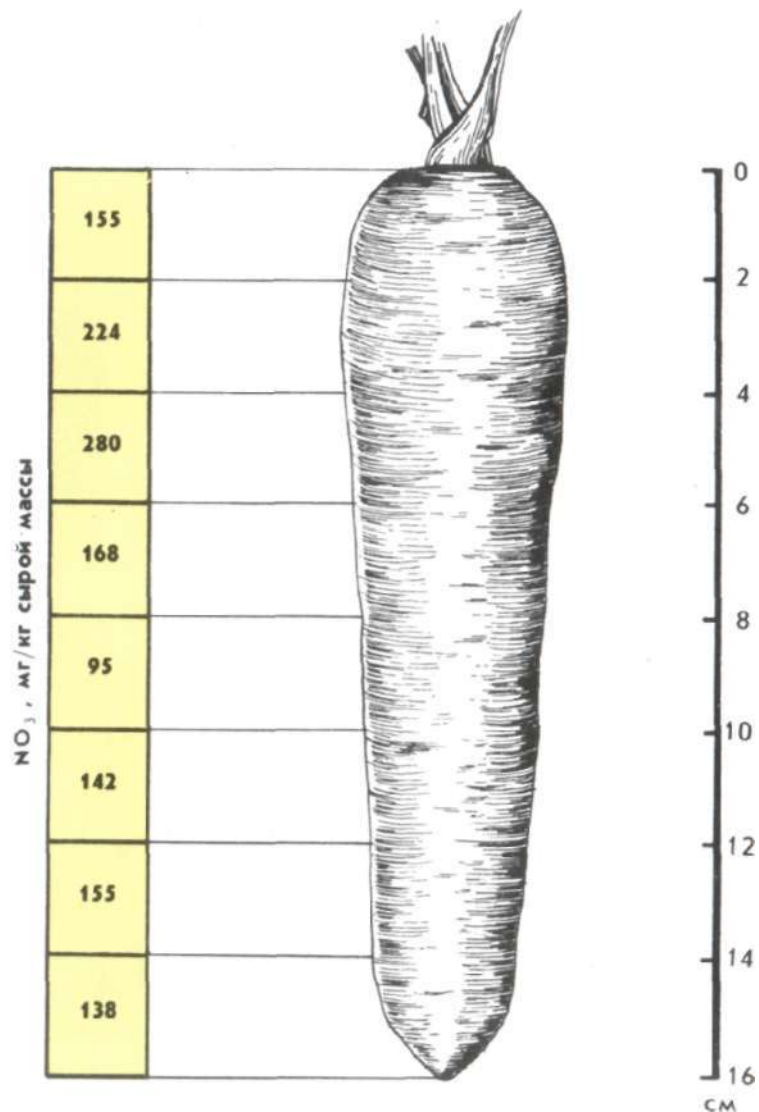
*Daucus sativus*



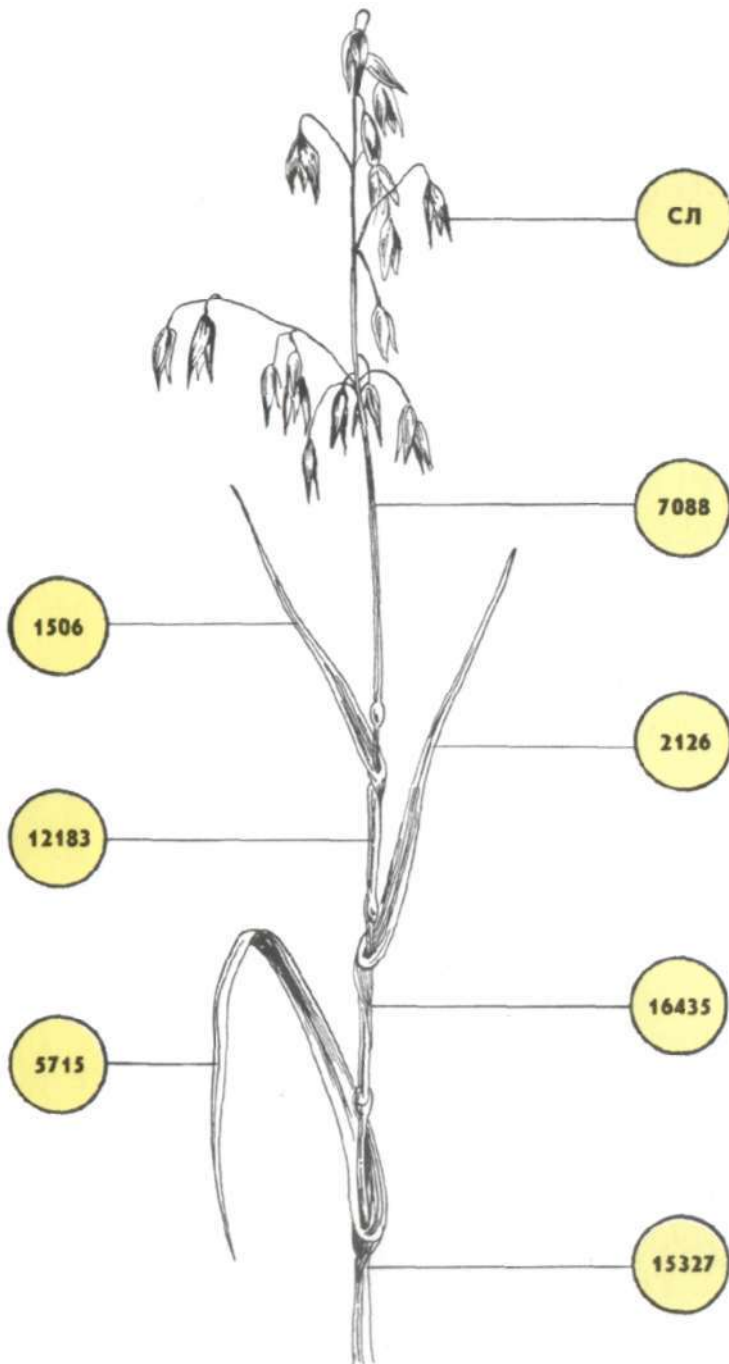
В корнеплодах моркови также выявлены зоны с разным содержанием нитратов. Много их в верхушке и кончике корнеплода, это, видимо, вызвано наличием в этой зоне всасывающих корешков. В сердцевине корнеплода моркови уровень нитратов оказался выше, чем в коре. Причем уровень нитратов в сердцевине уменьшается от кончика корня к верхушке, а в коре более высокое содержание нитратов обнаружено в средней зоне корнеплода.



$\text{NO}_3^-$ , мг/кг сырой массы



**ОВЕС**  
*Avena sativa*



Количество нитратов в стебле снижается к его верхушке. Нижние листья содержат больше нитратов по сравнению с верхними. В метелке нитраты присутствуют в следовых количествах.

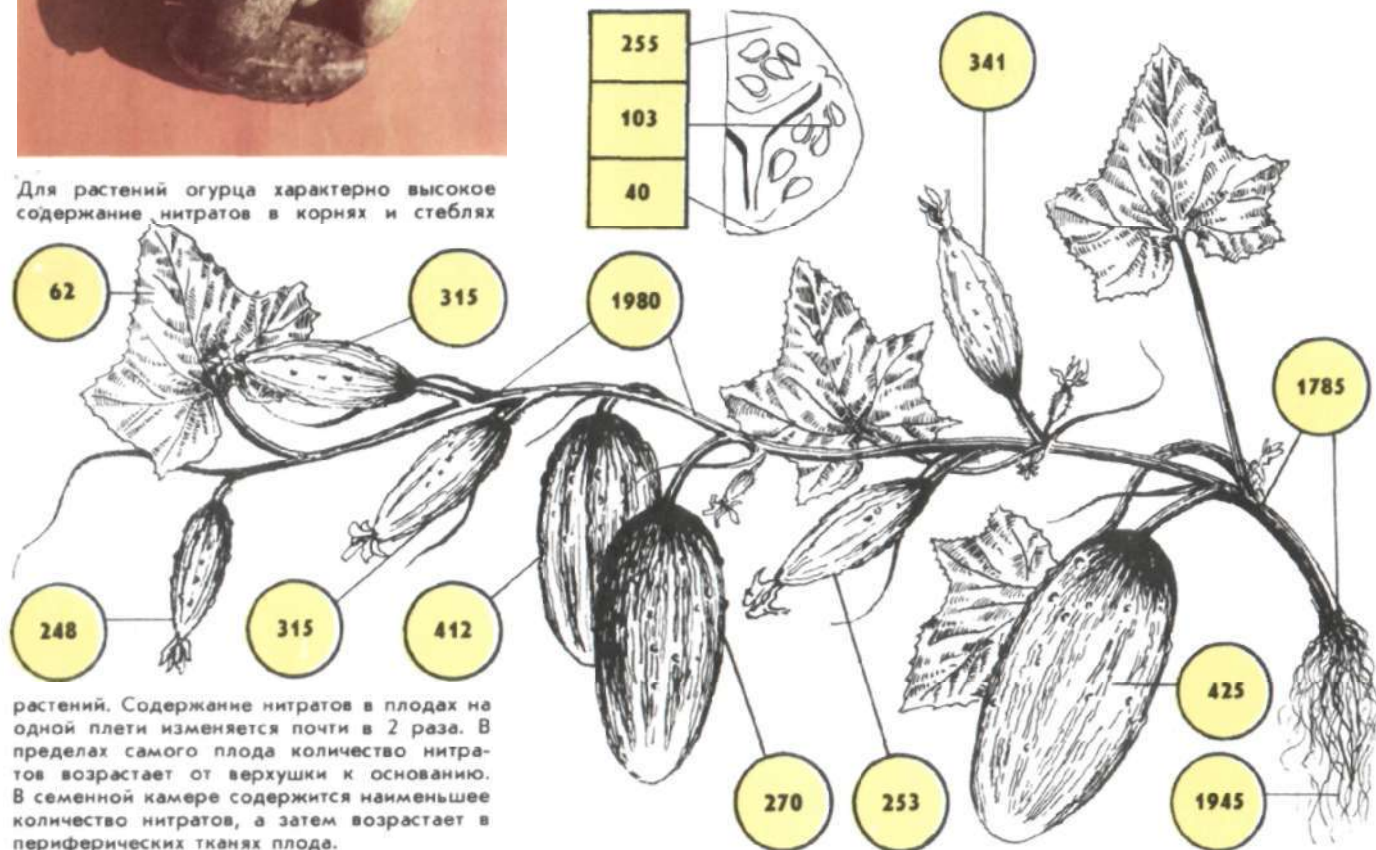
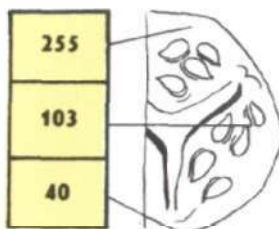
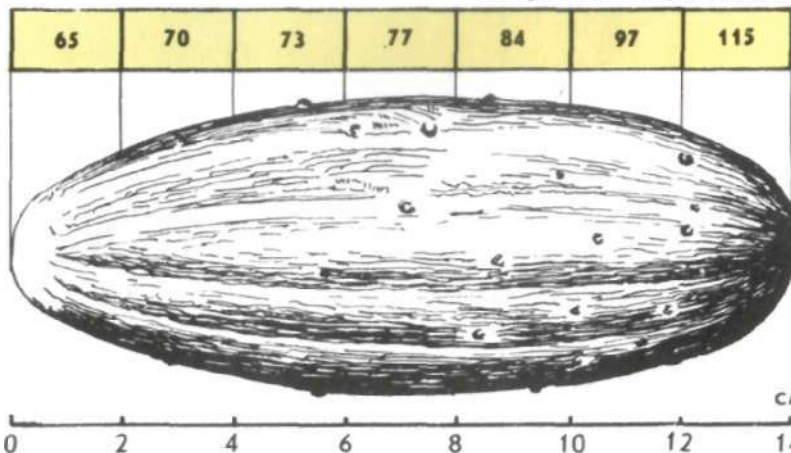
# ОГУРЕЦ

*Cucumis sativus*



Для растений огурца характерно высокое содержание нитратов в корнях и стеблях

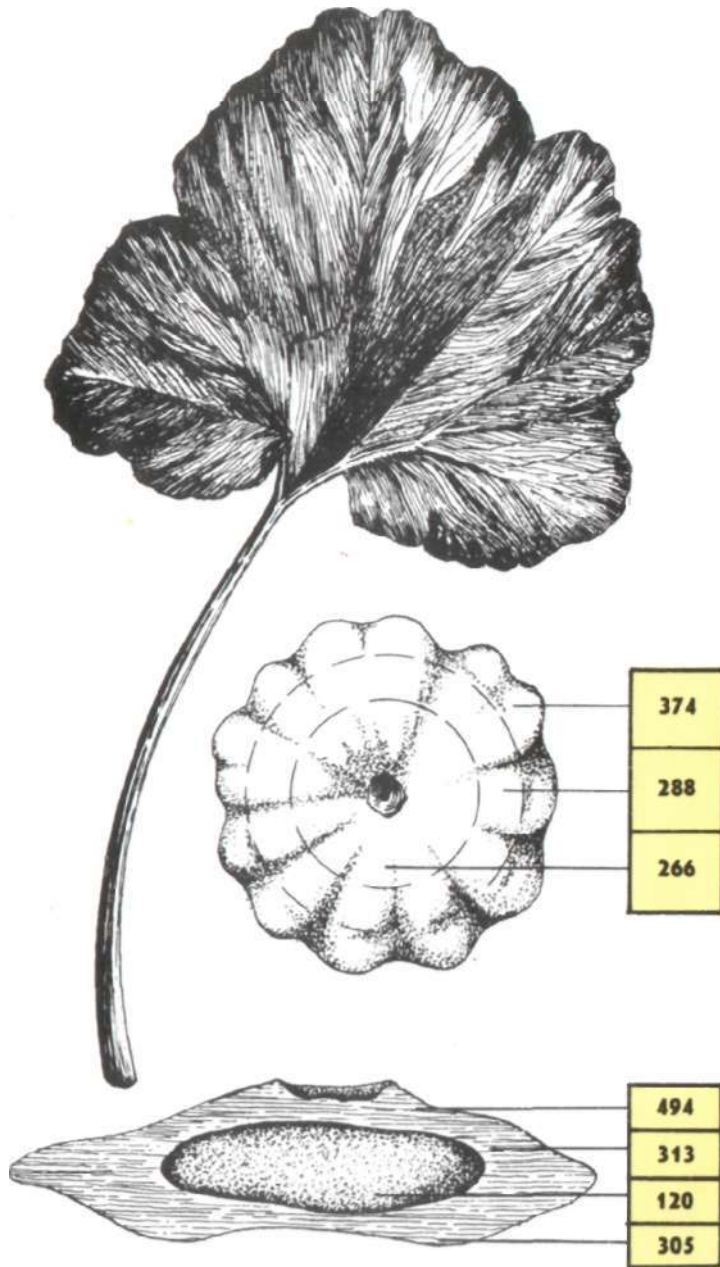
$\text{NO}_3^-$ , мг/кг сырой массы



растений. Содержание нитратов в плодах на одной плети изменяется почти в 2 раза. В пределах самого плода количество нитратов возрастает от верхушки к основанию. В семенной камере содержится наименьшее количество нитратов, а затем возрастает в периферических тканях плода.

## ПАТИССОН

*Cucurbita pepo*



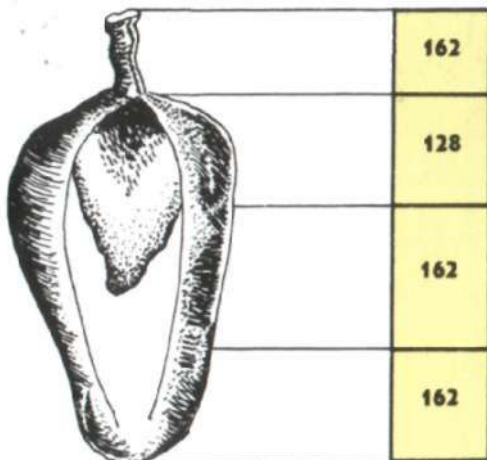
$\text{NO}_3^-$ , мг/кг сырой массы



Наибольшее количество нитратов сосредоточено в плодах патиссонов у плодоножки, тогда как наименьшее — в семенной камере. Количество нитратов возрастает от центра плода к его периферийной части.

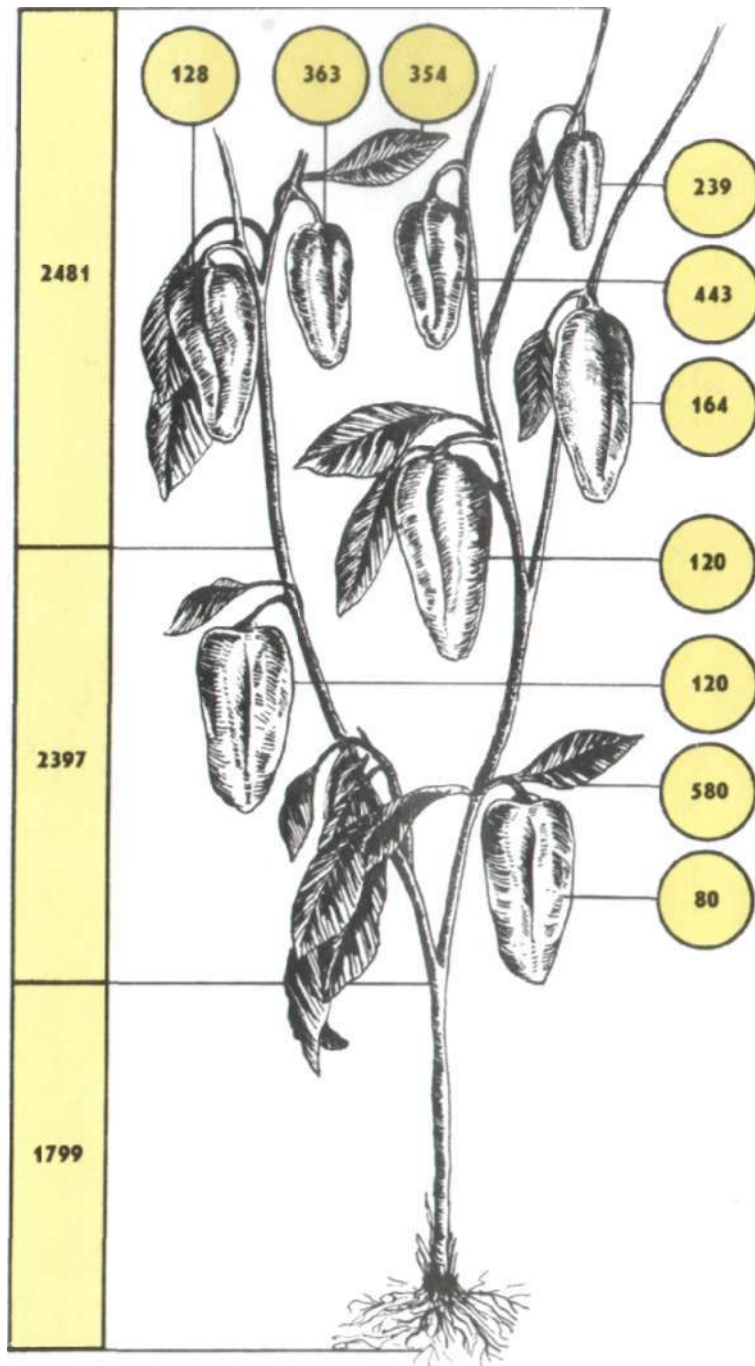
# ПЕРЕЦ

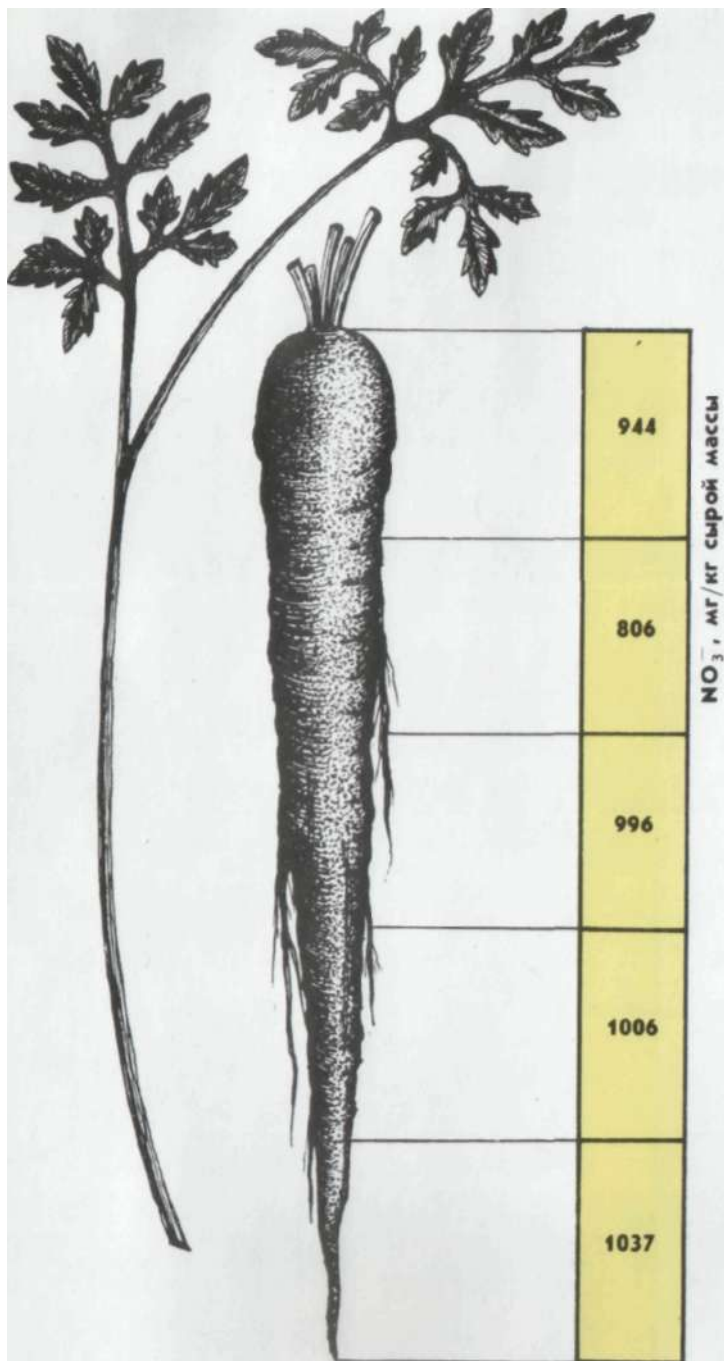
*Capsicum mexicanum*



NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, мг/кг сырой массы

Содержание нитратов в стеблях возрастает снизу вверх. В нижних листьях содержится нитратов больше, чем в верхних, тогда как в плодах верхнего яруса количество их выше, чем нижнего яруса. Наименьшее количество нитратов находится у основания плодов.





## ПЕТРУШКА

*Petroselinum hortense*



Нитраты в корнеплодах петрушки сосредоточены в нижней части, в средней и верхней части их содержание примерно одинаковое.

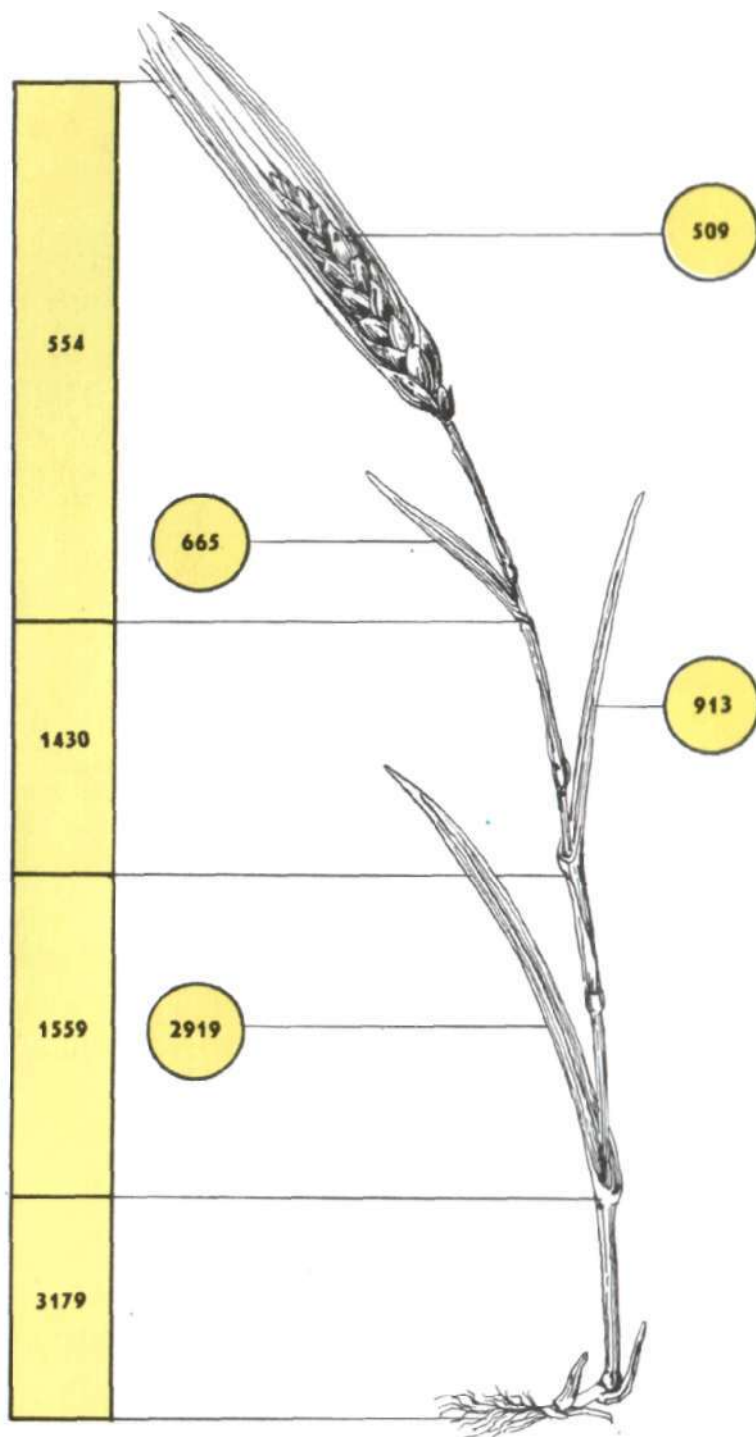
# ПШЕНИЦА ОЗИМАЯ

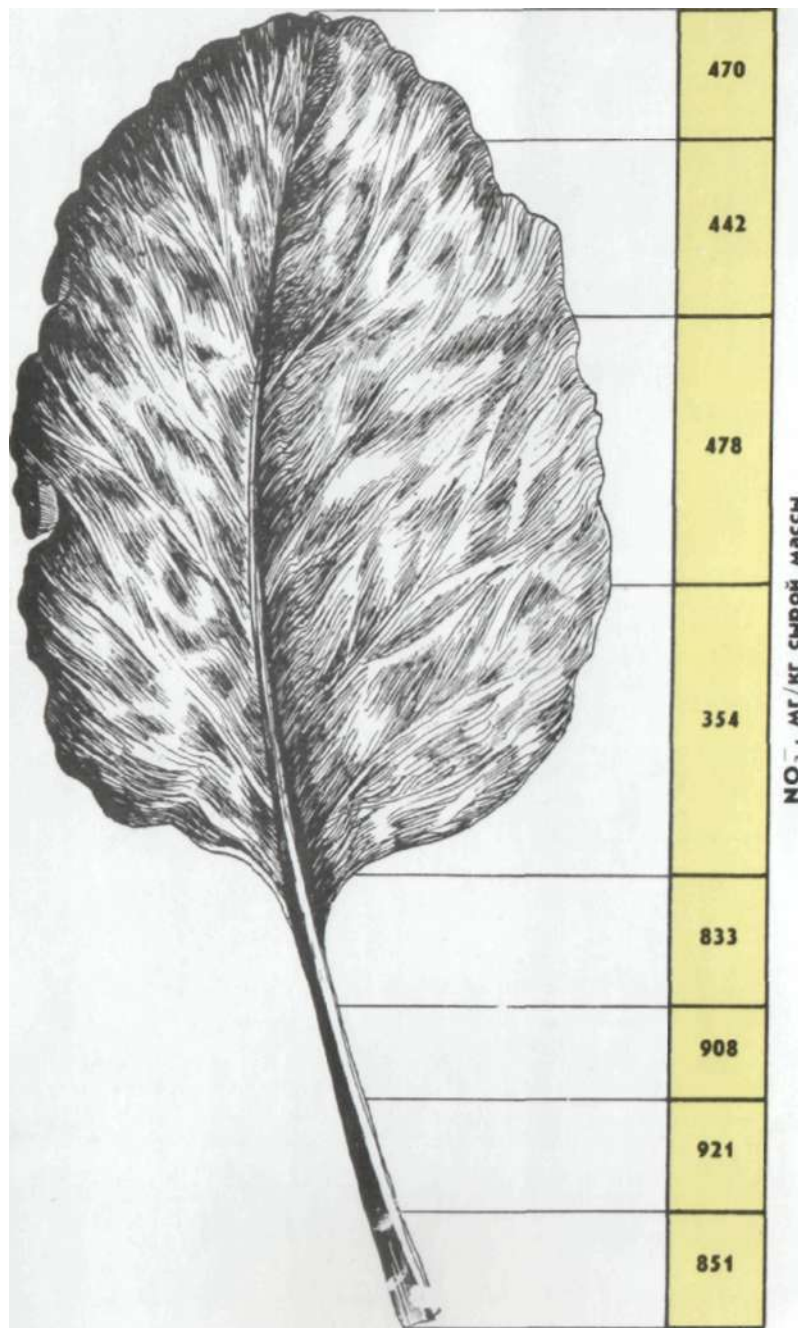
*Triticum sativum*



Количество нитратов в стеблях пшеницы убывает от основания к верхушке. Нижние листья содержат большее их количество. Наименьшим содержанием нитратов отличается колос.

$\text{NO}_3^-$ , мг/кг сырой массы





## РЕВЕНЬ

*Rheum undulatum*



Черешок листа до листовой пластинки содержит одинаковое количество нитратов. У основания листовой пластинки содержится меньше нитратов, чем в остальной ее части, где их содержание остается на одном уровне.



# РЕДИС

*Raphanus sativus*



NO<sub>3</sub>, мг/кг сырой массы

555
482
499
640
684
894

1286



872

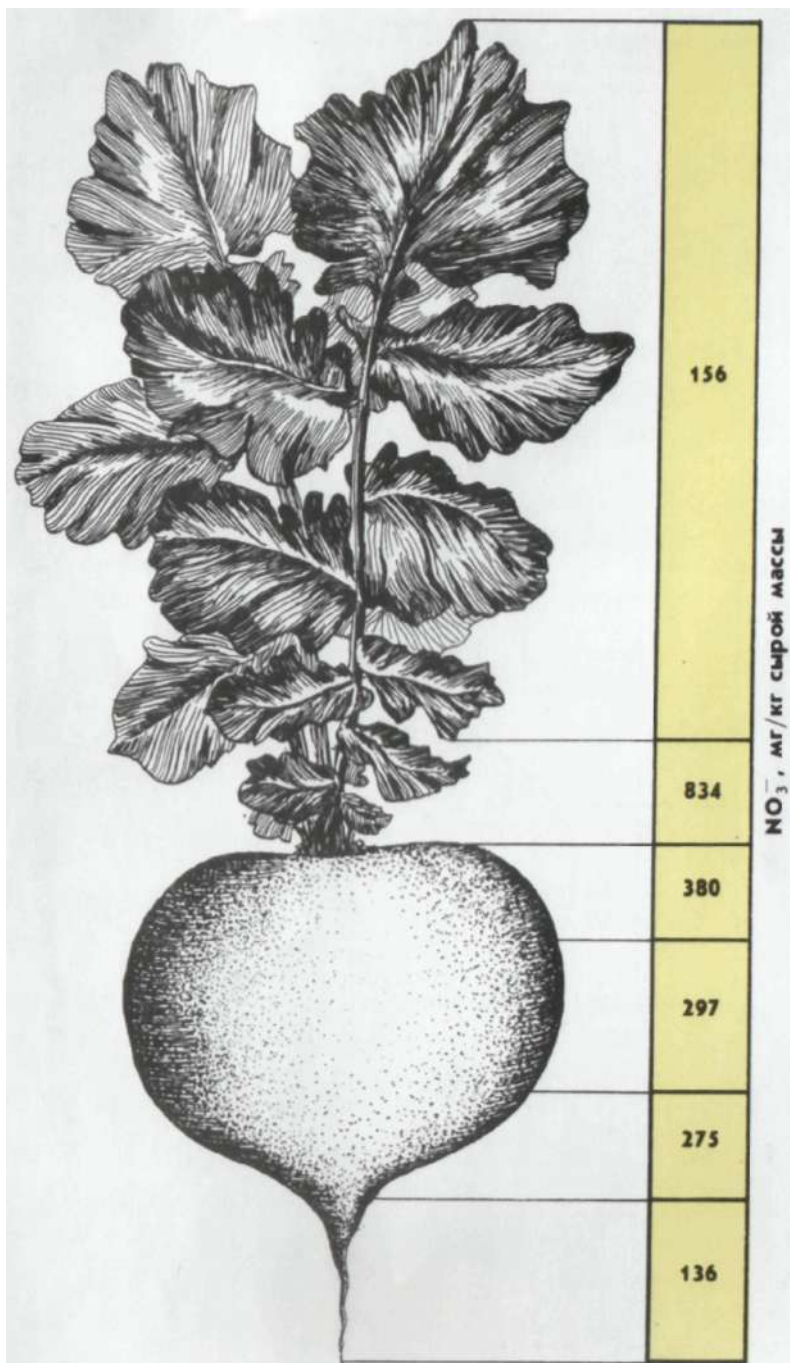
NO<sub>3</sub>, мг/кг сырой массы

1475
1264
1204
1427
1948
2288
3578



1393

Корнеплоды круглой формы содержат меньше нитратов, чем длинноплодные формы. Наибольшее количество нитратов содержится в нижней части корнеплода и в зоне, примыкающей к листьям.



## РЕДЬКА

*Raphanus sativus*



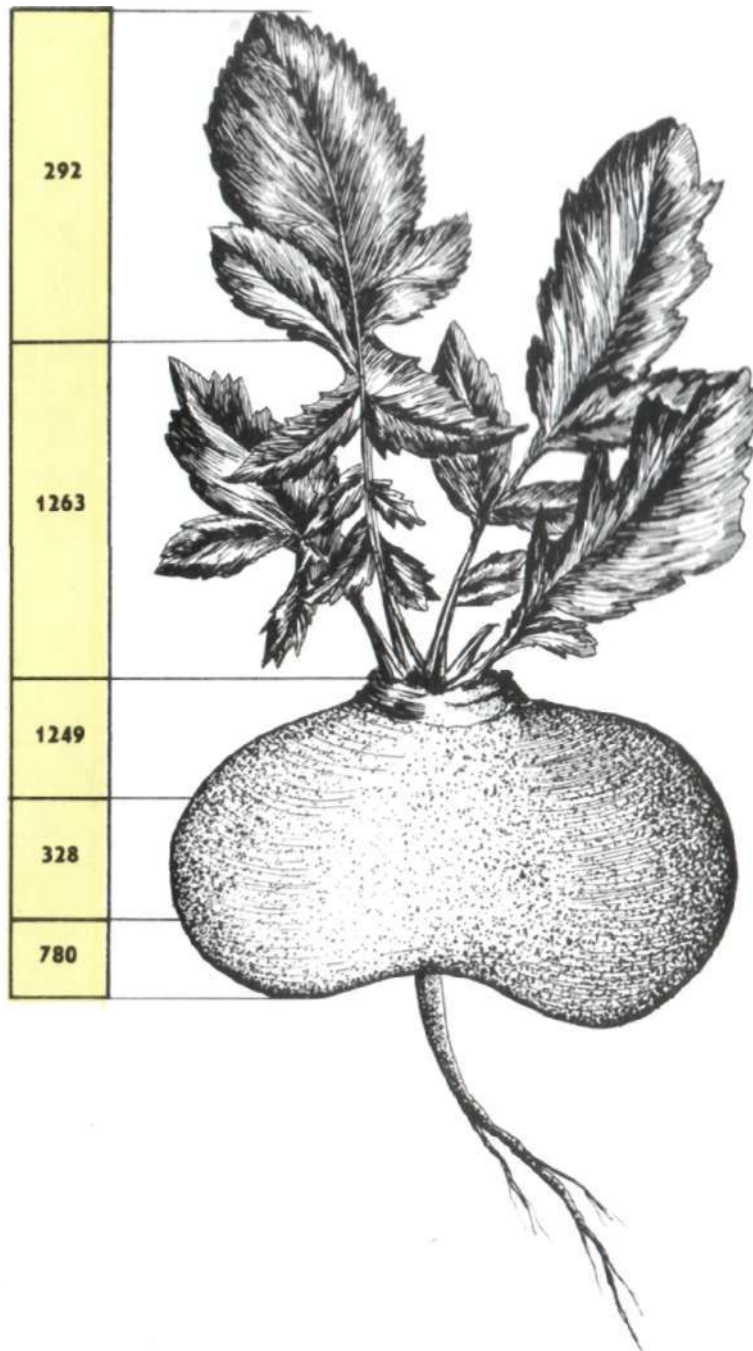
В корнеплодах редьки содержание нитратов возрастает от основания к верхушке. Максимальное их содержание в черешках листьев.

# РЕПА

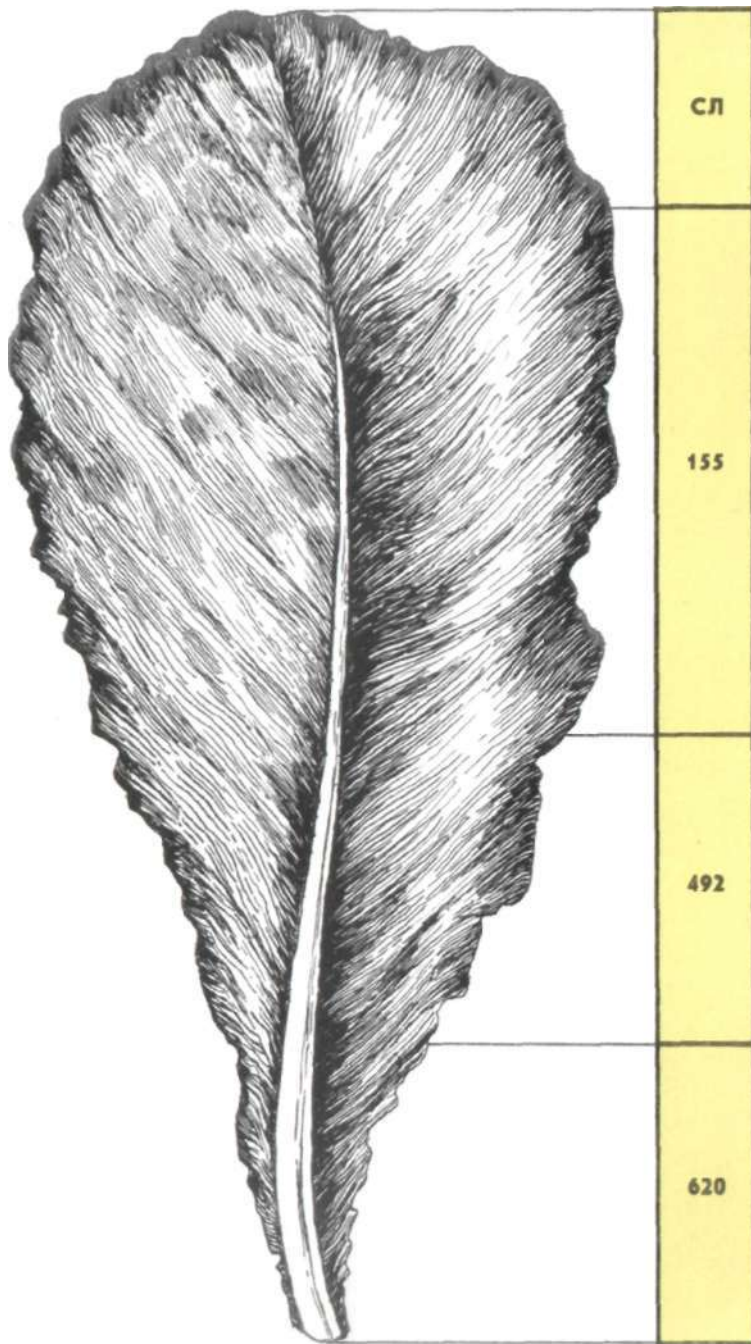
*Brassica campestris*



NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, мг/кг сырой массы



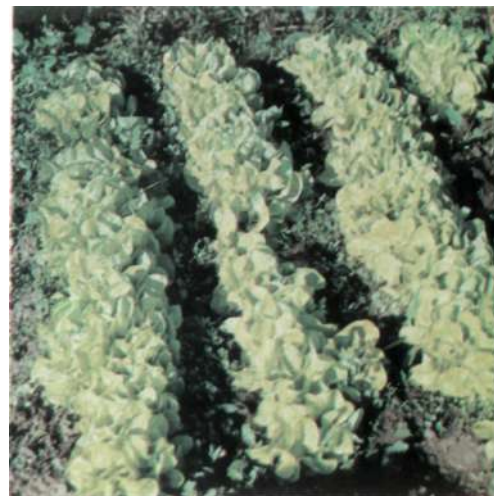
Наибольшее количество нитратов находится в верхушке корнеплода, несколько снижается в средней, и вновь возрастает в нижней части. Листовая пластинка содержит в 4 раза меньше чем черешки.



$\text{NO}_3^-$ , мг/кг сырой массы

## САЛАТ

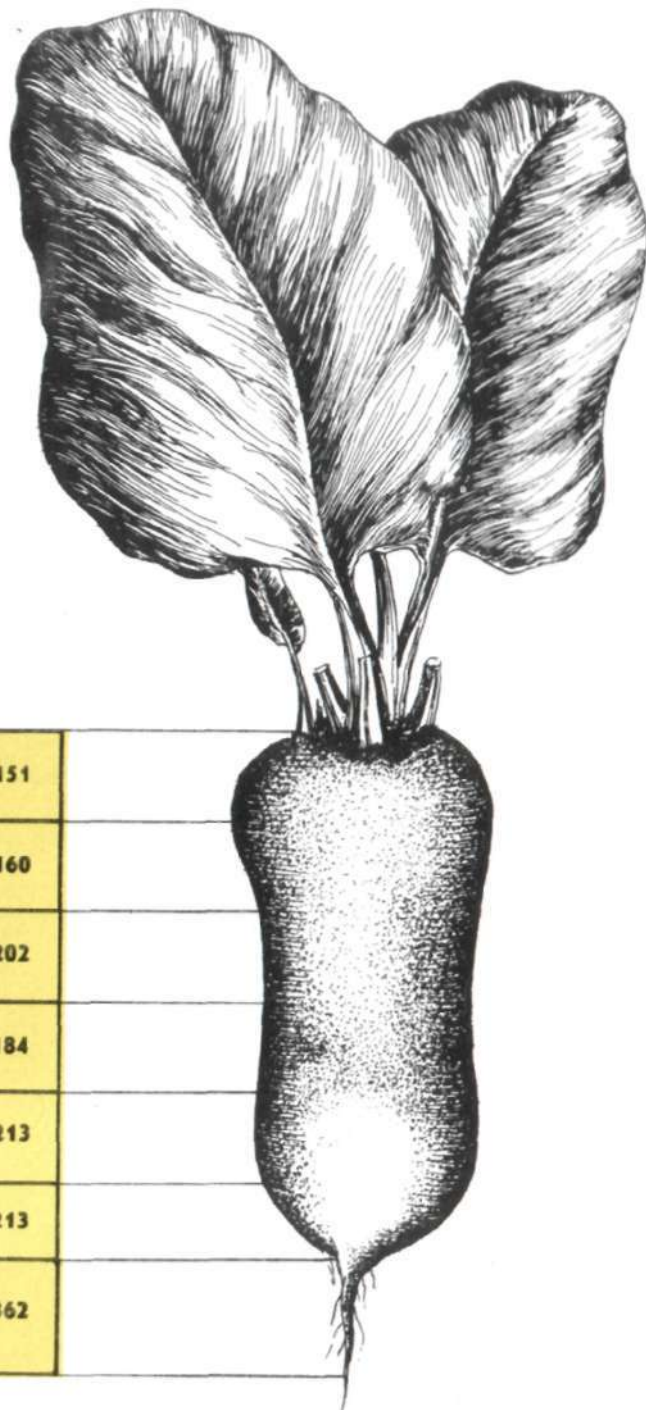
*Latuca sativa*



Содержание нитратов убывает от основания листа к его верхушке (более чем в 6 раз). В верхушке листа содержится следовое количество нитратов.

# СВЕКЛА КОРМОВАЯ

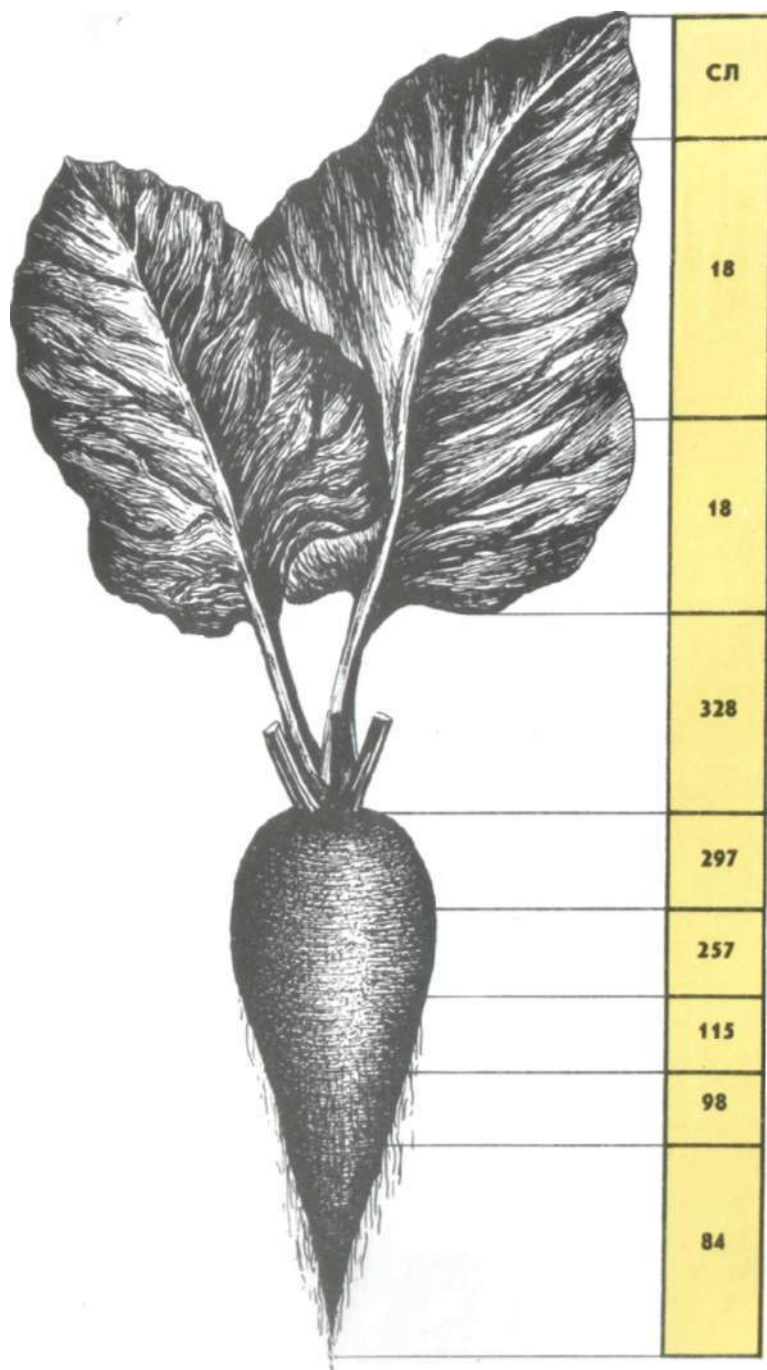
*Beta vulgaris*



NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, мг/кг сырой массы

151	
160	
202	
184	
213	
213	
362	

Наибольшее количество нитратов находится в кончике корнеплода и убывает постепенно к его верхушке.



NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, мг/кг сырой массы

## СВЕКЛА САХАРНАЯ

*Beta vulgaris*



Содержание нитратов в корнеплодах возрастает от зоны всасывающих корешков к верхушке. Высоким содержанием нитратов отличаются корешки, тогда как в листовой пластинке их почти в 20 раз меньше.

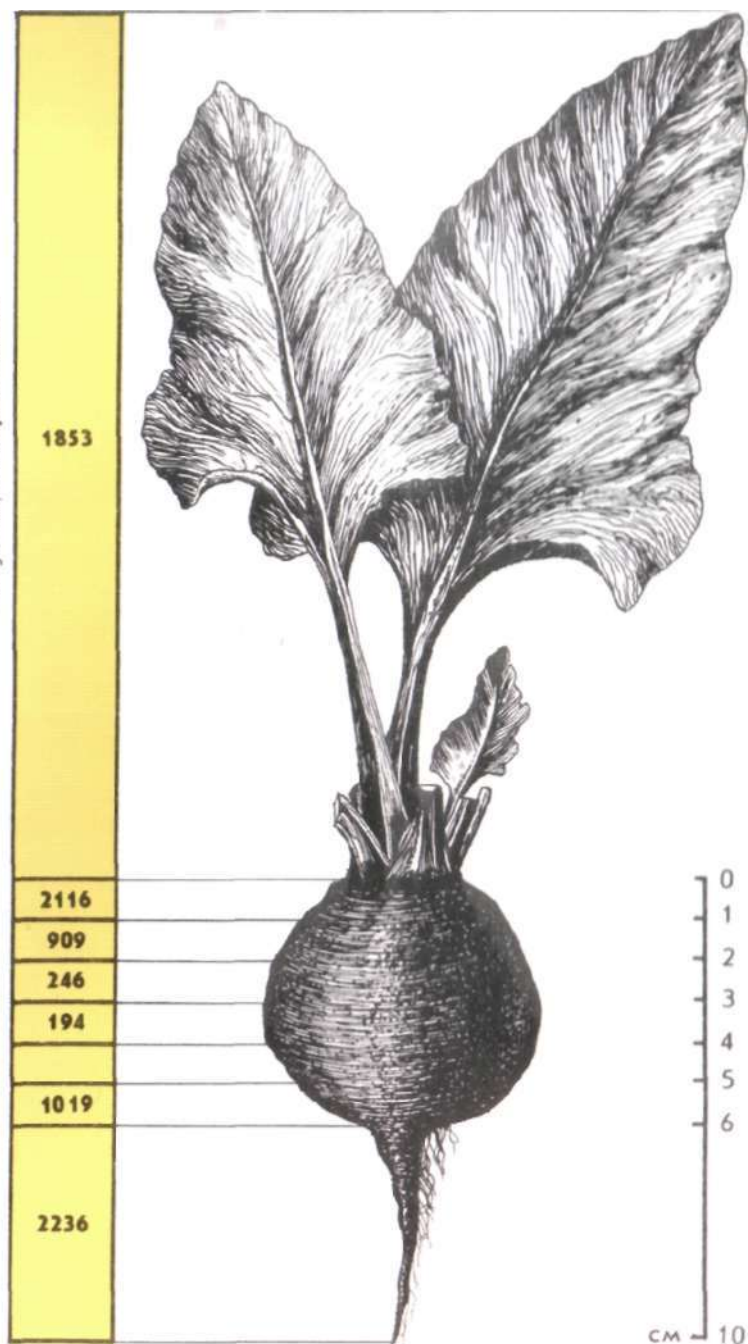
# СВЕКЛА СТОЛОВАЯ

*Beta vulgaris*



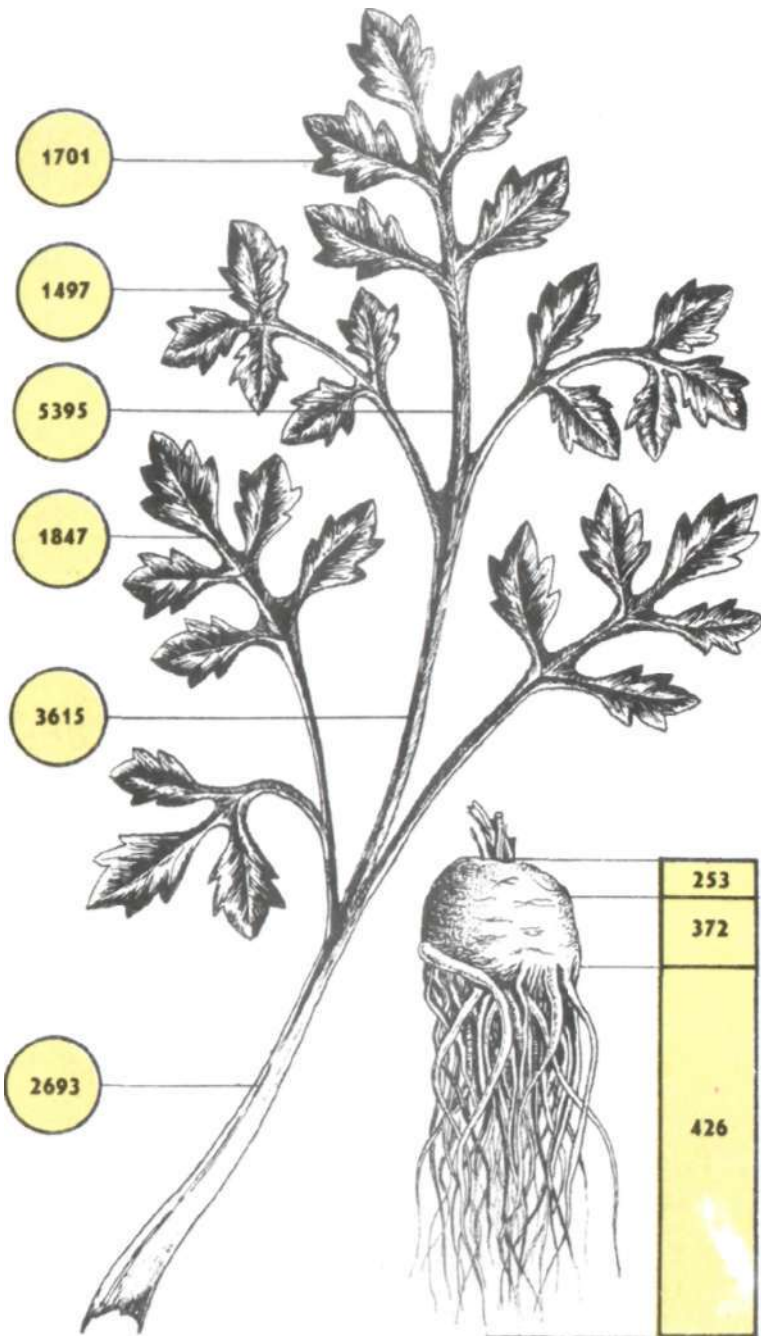
Сердцевина и кончик корня столовой свеклы отличаются от остальных частей корнеплода повышенным содержанием нитратов. Высокое содержание нитратов находится и у верхушек корнеплода, меньшее их содержание — в средней части корнеплода.

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, мг/кг сырой массы



## СЕЛЬДЕРЕЙ

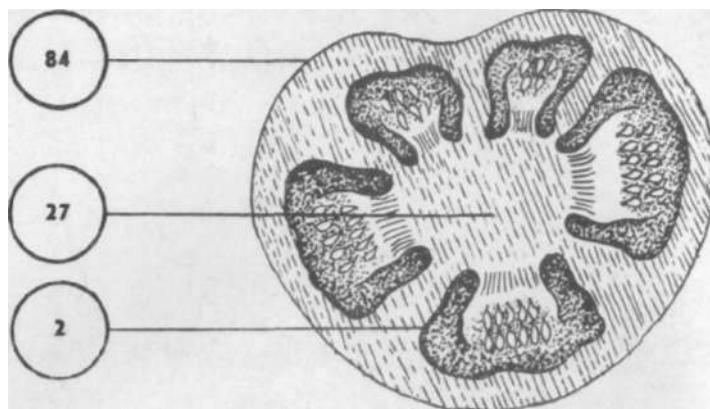
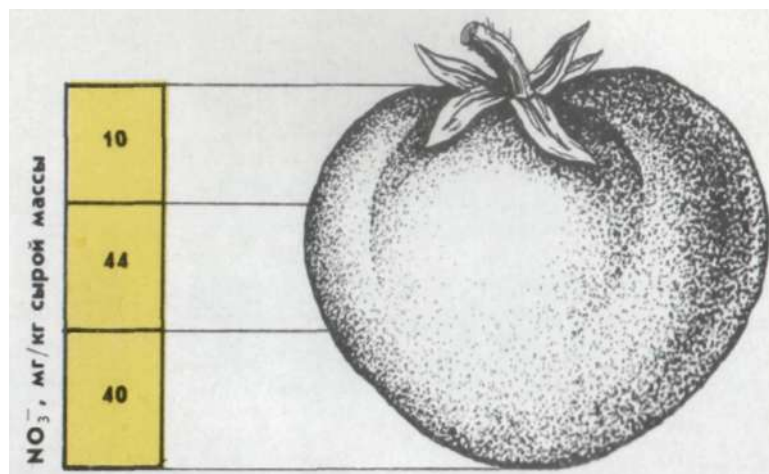
*Apium graveolens*



Содержание нитратов в корнеплодах сельдерея возрастает от верхушки к основанию. В черешке листа их количество растет от основания к верхушке более чем в 3 раза. Листовые пластинки содержат меньшее количество нитратов.



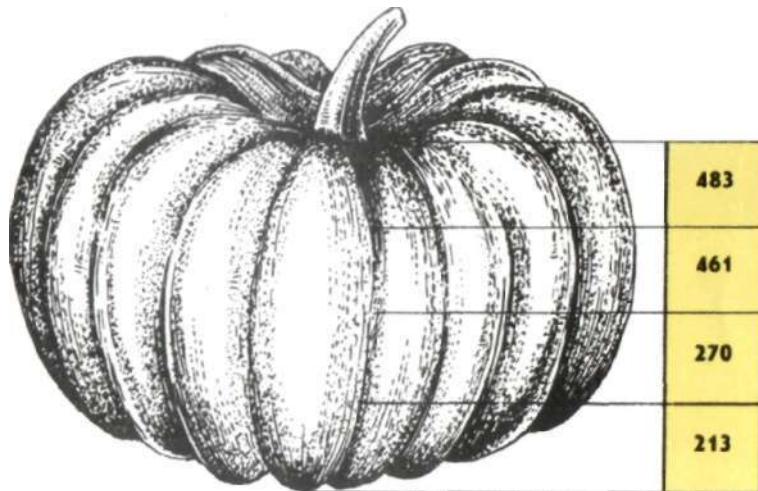
**ТОМАТ**  
*Lycopersicum esculentum*



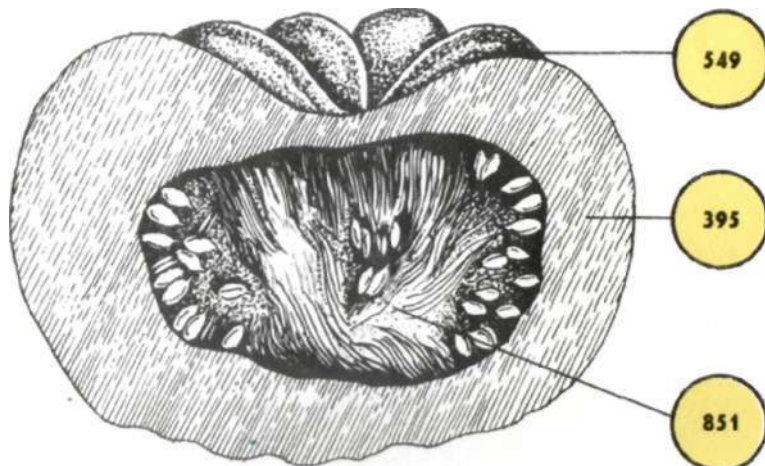
Меньше нитратов в плодах томатов находится в зоне, примыкающей к плодоножке. Меньшее их количество содержится в семенной камере, тогда как наибольшее — в кожце.

## ТЫКВА

*Cucurbita pepo*



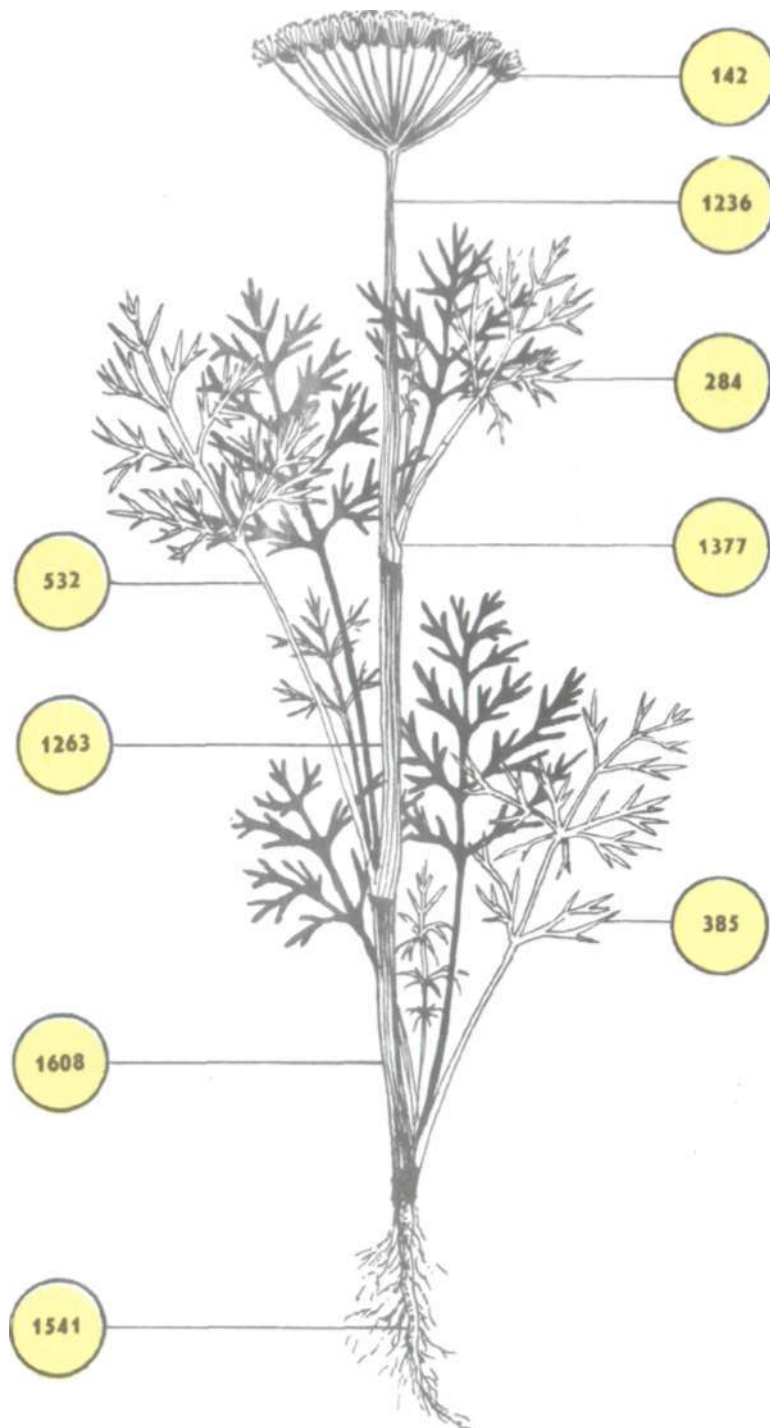
$\text{NO}_3^-$ , мг/кг сырой массы



Наибольшее количество нитратов в плодах тыквы сосредоточено в зоне, примыкающей к плодоножке, а также в семенной камере, затем снижается в мякоти и вновь возрастает в кожце.

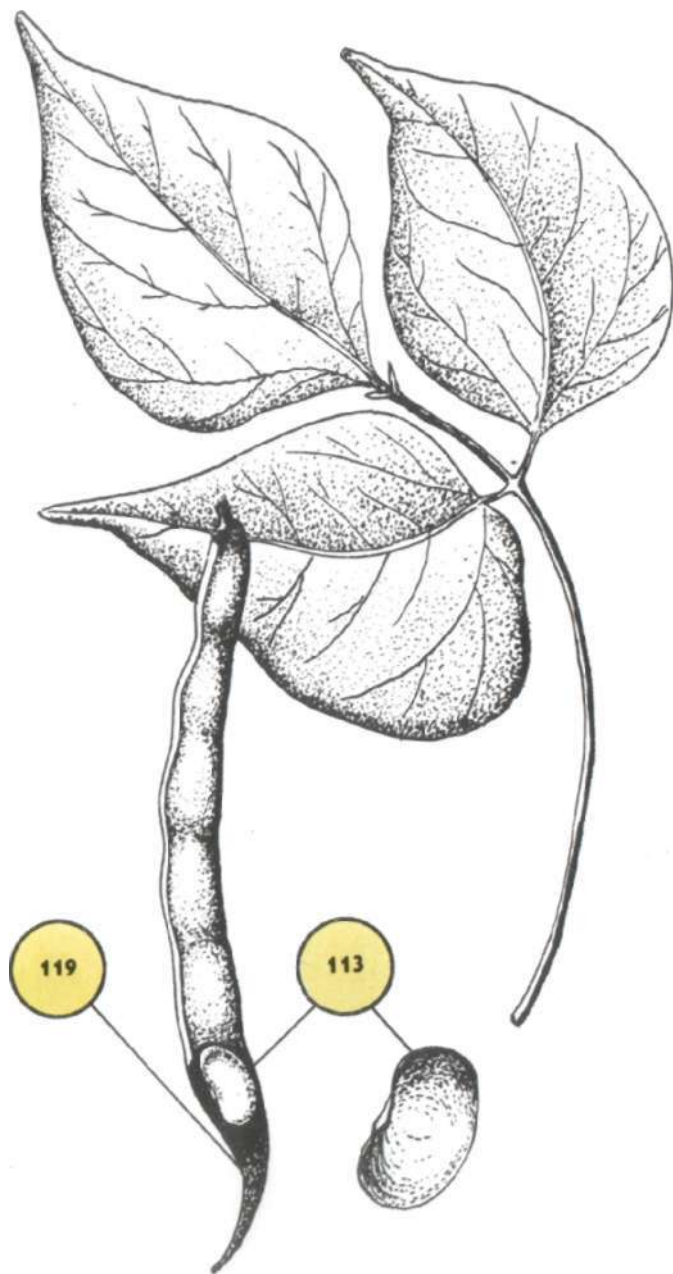
## УКРОП

*Anethum segetum*



Корни и нижняя часть стебля отличаются высоким содержанием нитратов. Высокое содержание нитратов отмечено у нижних листьев, меньше их в верхних листьях и в зонтике.

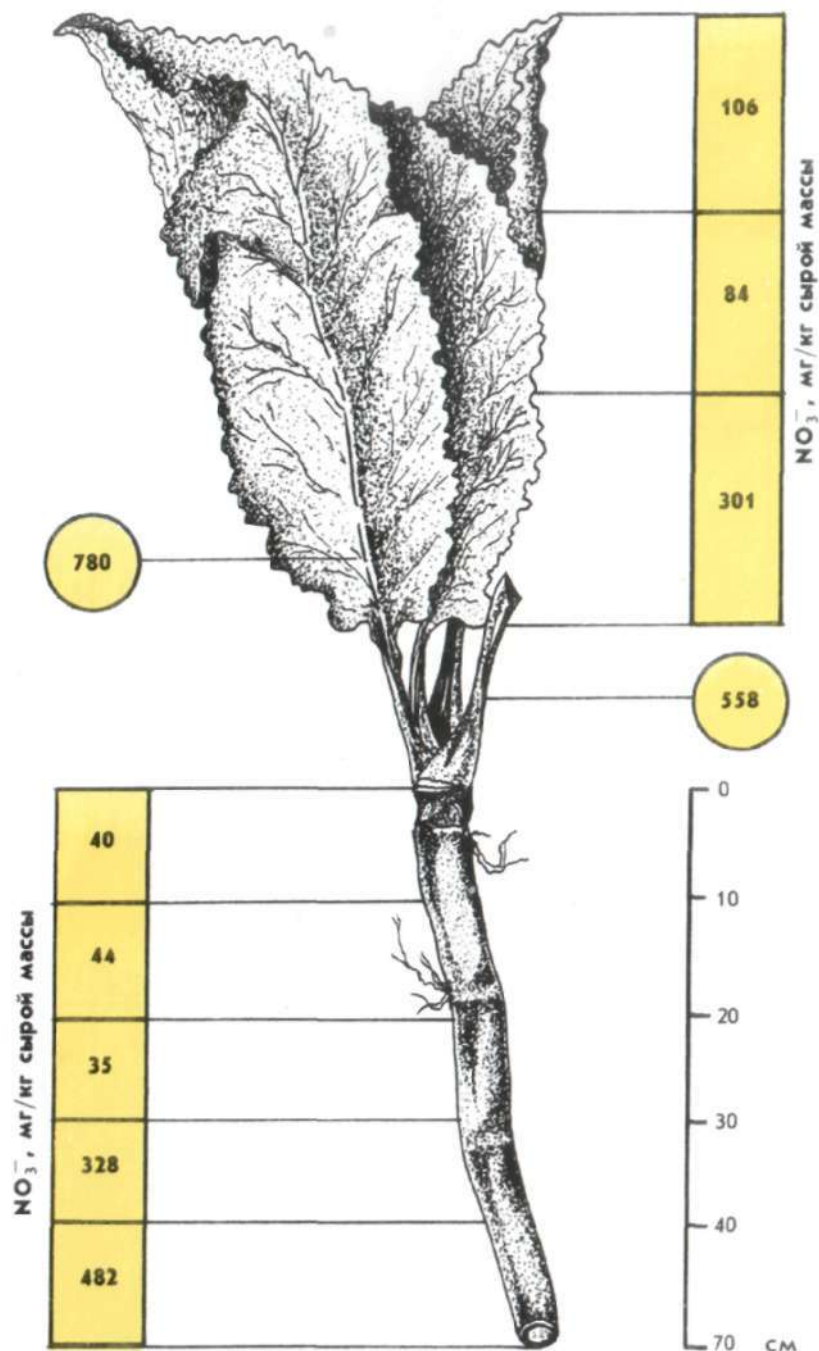
**ФАСОЛЬ**  
*Phaseolus vulgaris*



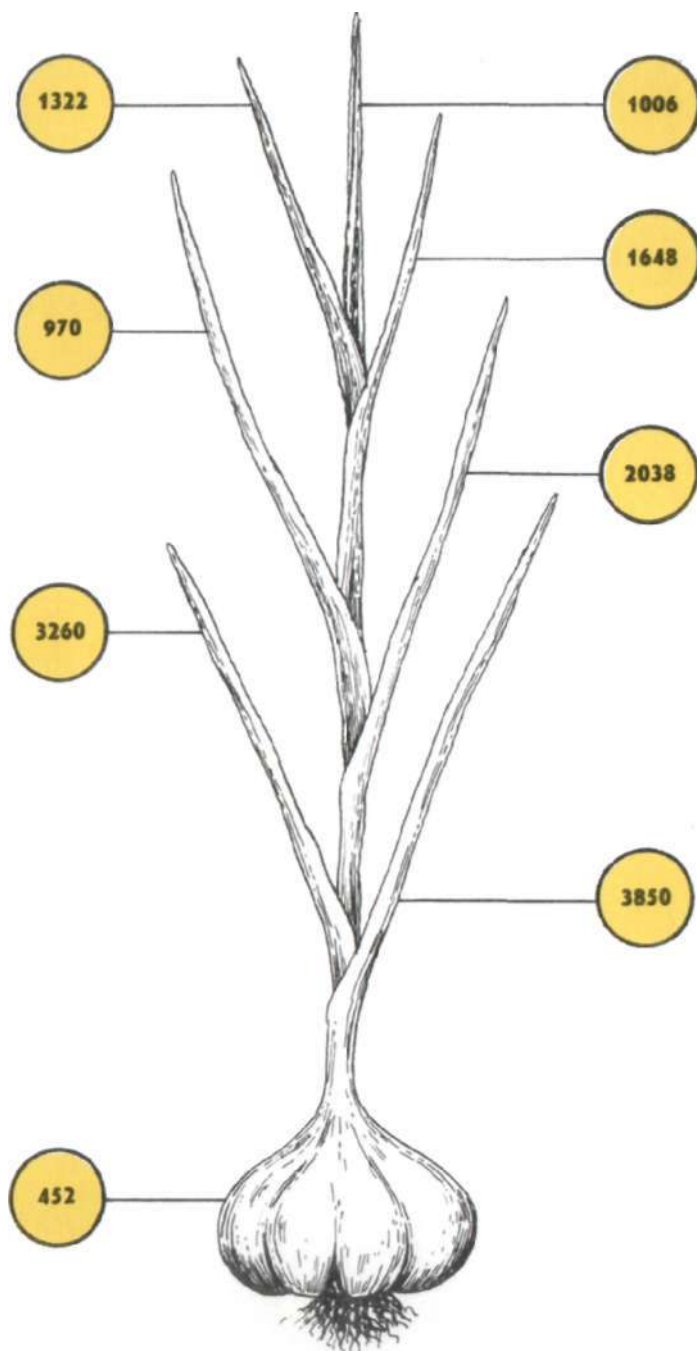
Стручки и бобы фасоли содержат примерно одинаковое и невысокое количество нитратов.

# ХРЕН

*Cochlearia armoracia*



Количество нитратов в корне хрена возрастает от верхушки к его основанию, причем на расстоянии 0,5 м — более чем в 10 раз. Высокий уровень нитратов в черешках и в жилке листьев. В листовой пластинке наибольшее их количество находится в основании.



## ЧЕШОК

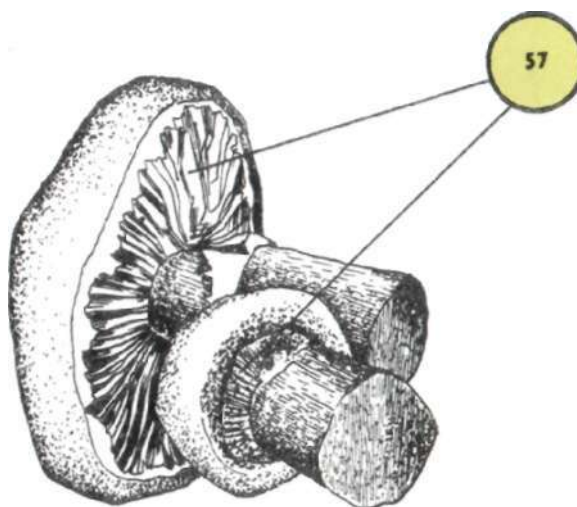
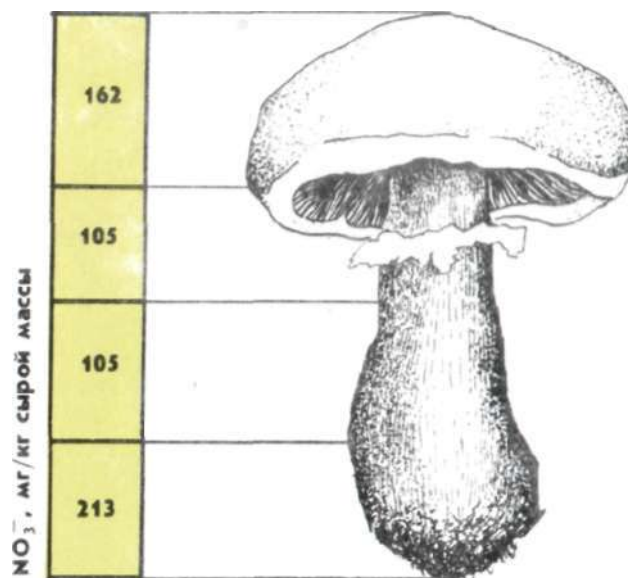
*Allium sativum*



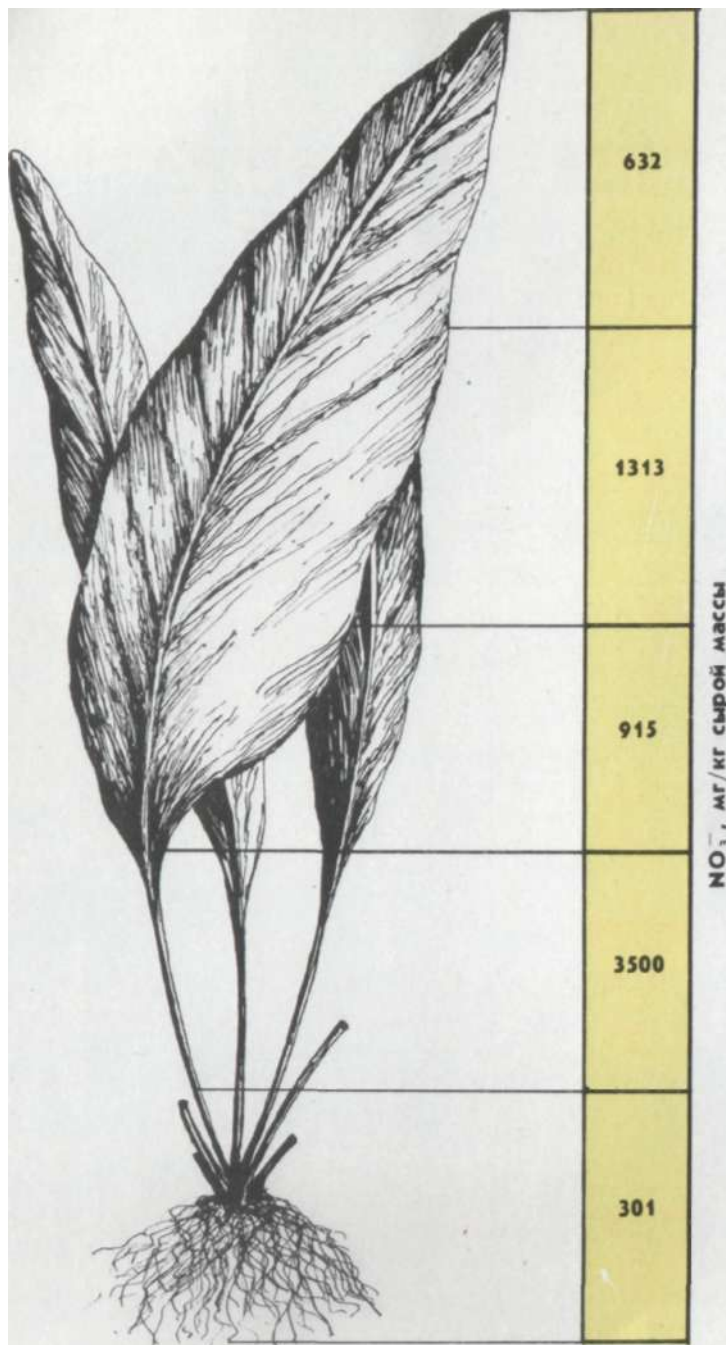
Наибольшее количество нитратов находится в нижней части стебля и нижних листьях. В головке содержится минимальное их количество.

# ШАМПИНЬОН

*Psoliota*



Наибольшее количество нитратов сосредоточено у основания ножки и в плодовом теле. Минимальное их количество находится в спорангии.



## ШПИНАТ

*Spinacia oleracea*

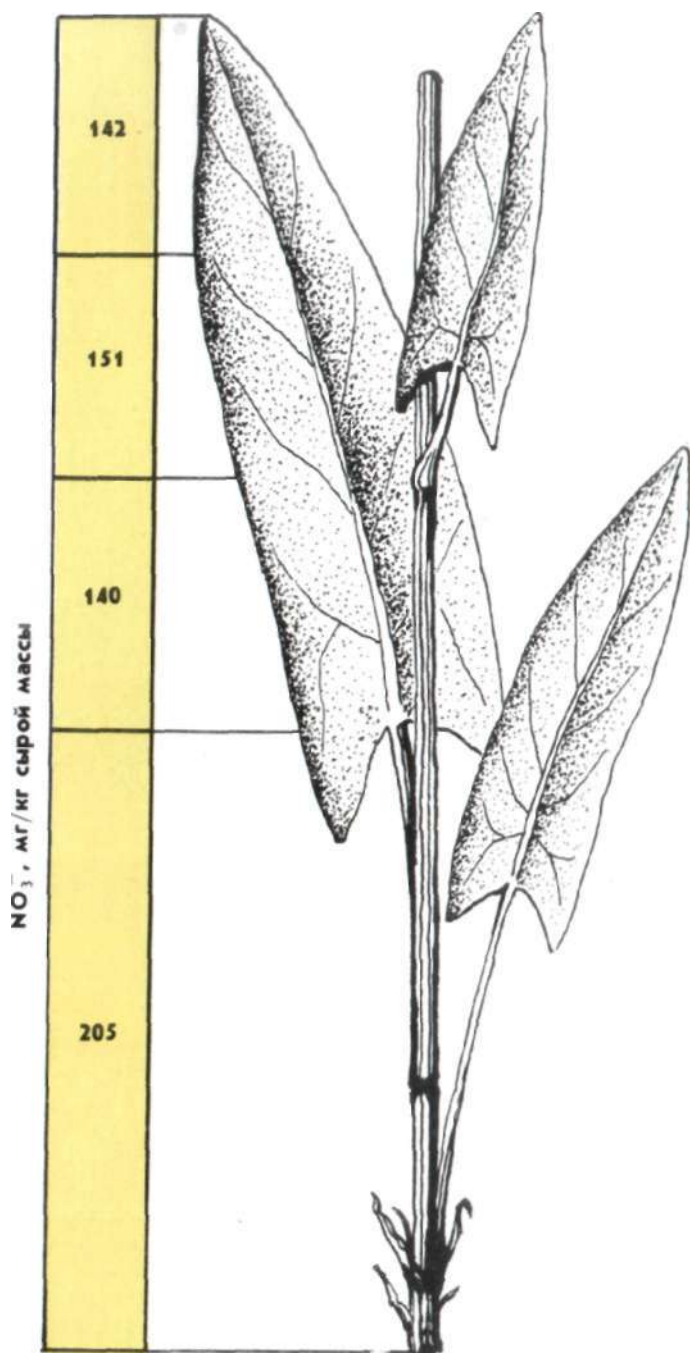


Наибольшее содержание нитратов отмечено в черешках, минимальное — в корнях. В листовой пластинке средняя зона отличается повышенным содержанием нитратов.



# ЩАВЕЛЬ

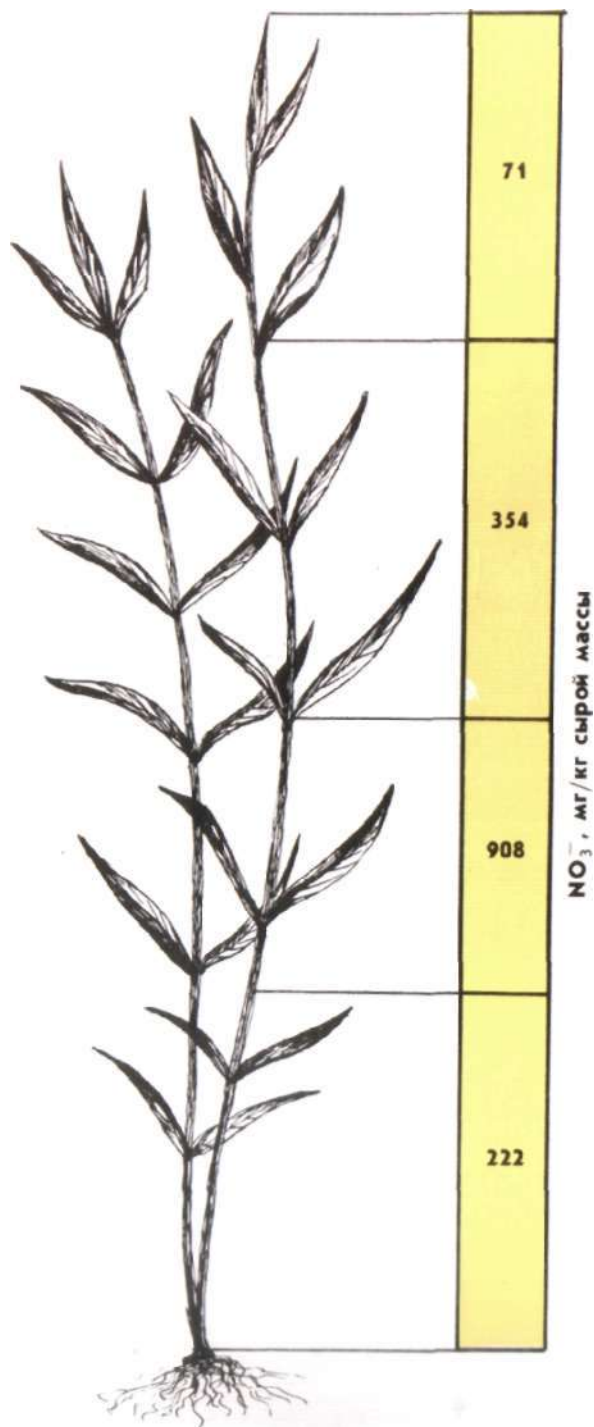
*Rumex acetosa*



В листовой пластинке щавеля нитраты распределены равномерно, примерно на 25% их больше в черешках.

## ЭСТРАГОН

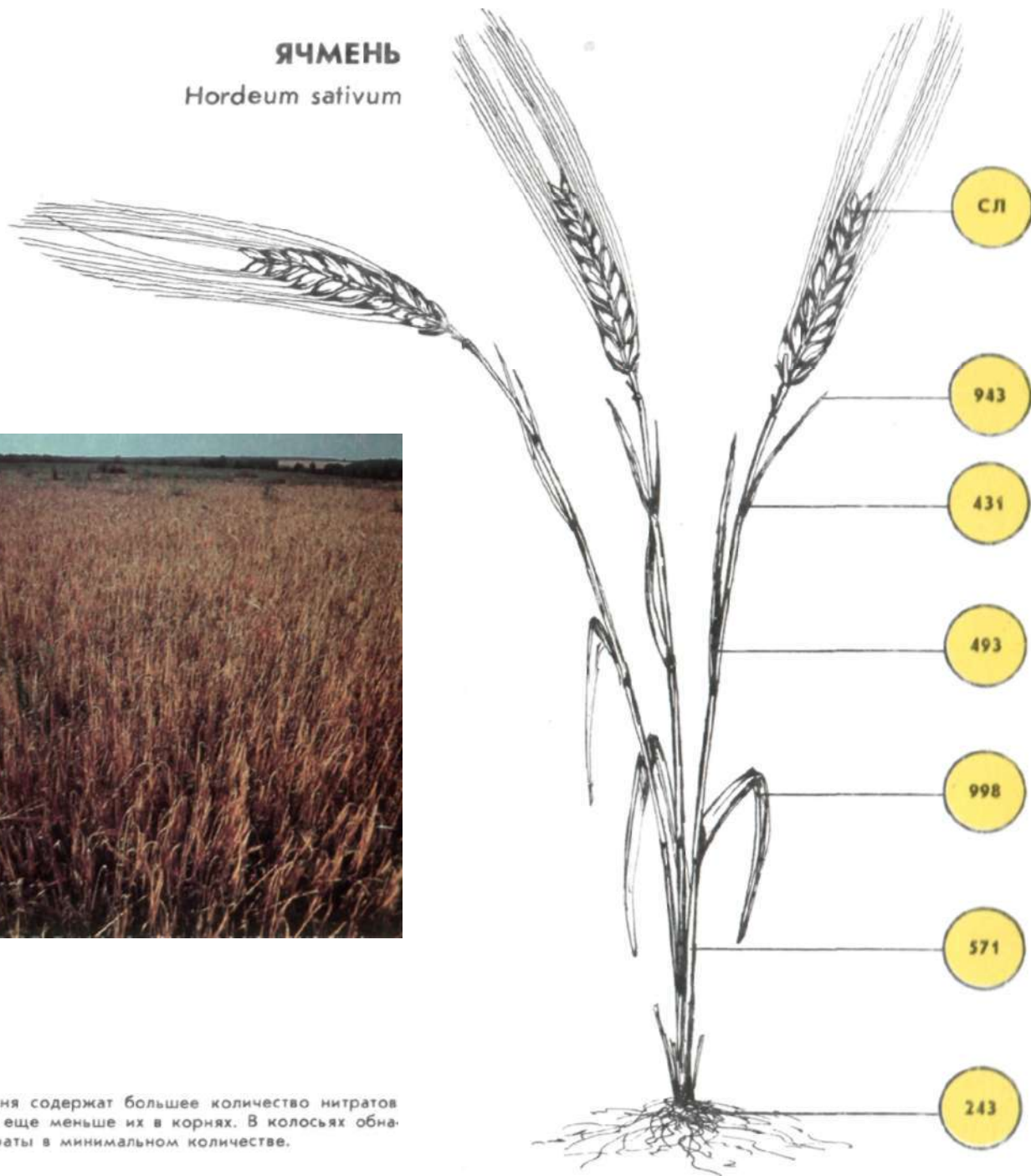
*Artemisia dracunculus*



Наибольшее содержание нитратов отмечено в средней части растений. Минимальное их количество находится в верхней части стебля.

# ЯЧМЕНЬ

*Hordeum sativum*



Листья ячменя содержат большее количество нитратов чем стебли; еще меньше их в корнях. В колосьях обнаружены нитраты в минимальном количестве.

