

А. М. ГОЛДОВСКИЙ и С. С. БЕРЕСТОВСКАЯ
О СОЕДИНЕНИЯХ КАЛИЯ В РАСТЕНИИ

(Представлено академиком Н. А. Максимовым 5 III 1949)

В свое время, на основании старых работ (^{1, 2}) принималось (^{3, 4}), что часть калия в растении находится в связанном состоянии. Однако со времени работы Костычева и Элиасберга (⁵), работавших с листьями и не нашедших в них связанного калия, установилось мнение о том, что калий в растении находится только в ионной форме (^{6, 7}), причем этот вывод без каких-либо оснований распространяется на все органы растения.

Однако работы С. И. Иноземцева (^{8, 9}) указывали на наличие части калия в связанном состоянии; впрочем, некоторые данные этих работ не получили подтверждения в последующей работе Ф. Украдыга (¹⁰). Наконец, в последнее время появляется важная работа Е. И. Ратнера (¹¹), также подчеркивающая наличие части калия в связанном состоянии.

Мы предприняли настоящую работу для самого общего разъяснения вопроса о соединениях калия в семенах подсолнечника; впоследствии нами был охвачен также вопрос о формах связи калия в вегетативных частях подсолнечника*.

Экспериментальная часть

Нами применялась обработка материала рядом растворителей с выяснением количественного распределения соединений калия в полученных вытяжках. Обработка материала производилась серным эфиром (экстракция в аппарате Сокслета в течение 18—20 час.), водой при комнатной температуре в течение 24 час., водой при нагревании (на кипящей водяной бане в течение 3 час.), этиловым спиртом 96° на кипящей водяной бане с обратным холодильником в течение 2—3 час. и 2% раствором соляной кислоты (кипячение в продолжение 5 час.) в той последовательности и по той методике, которая принята С. А. Ваксман и К. Р. Стевенс (¹²) в их системе приближенного химического анализа растительного материала.

Определенные порции полученных вытяжек выпаривались, сухой остаток озолялся, зола обрабатывалась соляной кислотой для перевода соответствующих минеральных элементов в хлориды с последующим обычным отделением нерастворимого, содержащего кремнекислоту, остатка. В полученном растворе калий определялся хлорплатинатным методом с последующим восстановлением хлорплатинатного осадка муравьинокислым натрием и взвешиванием полученной платины.

* Авторы пользуются случаем принести глубокую благодарность В. С. Пустовойту и С. Б. Рушковскому (Всесоюзный научно-исследовательский институт масличных культур, Краснодар) за помощь при получении необходимого материала для исследования.

Таблица 1

Содержание K_2O в % от абс. сух. веса материала (в скобках в % от общего количества K_2O в материале)

Объект исследования	В вытяжках, полученных при последовательной обработке:					В нерастворимом остатке после обработки перечисленными раст. ортителями	Всего
	серным эфиром	водой при комнатной т-ге	водой при нагревании	этиловым спиртом 90°	% растворимой солиной к-ты		
Подсолнечник сорт № 4966 (урожай 1944 г.)							
Семена зрелые (ядро)	следы	0,43 (53,1)	0,22 (27,2)	следы	0,11 (13,6)	0,05 (6,1)	0,81 (100,0)
Подсолнечник сорт № 1646 (урожай 1946 г.)							
Семена (ядро) на стадии налива, I VIII	0,01 (0,8)	0,84 (66,7)	0,11 (8,7)	0,13 (10,3)	0,14 (11,1)	0,03 (2,4)	1,26 (100,0)
Семена (ядро) на стадии уборочной зрелости — пожелтение корзинки. 10 VIII	следы	0,41 (52,6)	0,14 (17,9)	0,07 (9,0)	0,13 (16,7)	0,03 (3,8)	0,78 (100,0)
Листья (пластинки) на стадии уборочной зрелости, 10 VIII	0,01 (0,3)	2,34 (80,7)	0,27 (9,3)	0,03 (1,1)	0,20 (6,9)	0,05 (1,7)	2,90 (100,0)
Стебель на стадии уборочной зрелости, 10 VIII	0,01 (0,3)	2,53 (83,5)	0,22 (7,2)	0,05 (1,7)	0,20 (6,6)	0,02 (0,7)	3,03 (100,0)

Как видно из полученных данных (табл. 1), соотношение между содержанием калия в полученных вытяжках различно для различных частей растения на одной и той же стадии его онтогенетического развития и, повидимому, изменяется в ходе онтогенеза.

Рассматривая полученные данные со стороны их значения для решения вопроса о формах соединения калия в растении, обнаруживаем, что вытяжки, полученные при обработке ядра зрелых семян подсолнечника серным эфиром, содержат лишь следы калия. Исходя из этого, мы приходим к выводу, что в семенах калий может быть связан с растворимыми в серном эфире липидными веществами лишь в очень незначительных количествах.

Отметим здесь, что при проведенной нами обработке материала другим липидным растворителем — безводным ацетоном после экстракции серным эфиром (и в обратной последовательности) мы находили в полученных ацетоновых вытяжках также лишь следы калия. Таким образом, соединения калия в основной части относятся к нежировой части ядра. Этот вывод подтверждается и проведенным нами непосредственным изучением состава масла, отжатого при комнатной температуре из целого ядра семян (сорт ВНИИМК 4966, урожай 1946 г.); оказалось, что в полученном при таком отжиме масле, максимально приближающемся по составу к маслу в том виде, в каком оно содержится в клетках ядра семян (обоснование этого способа см. предыдущие работы нашей лаборатории^{13, 14}), содержатся лишь ничтожные количества калия — 0,01% от веса масла (порядка 0,006% K_2O от веса абсолютно сухого ядра). Отпадает и возможность существования значительных количеств непрочных, расщепляемых серным эфиром, липидных соединений калия, поскольку в непосредственно отделяемой меха-

ническим способом масляной части семян содержатся лишь незначительные количества калия.

Проведенное нами сравнительное изучение семян пшеницы и кукурузы показало в серноэфирном экстракте из семян пшеницы (яровая, Лютесценс 062, сорт К-22389, урожая 1945 г., Галич) лишь следы калия и в серноэфирном экстракте из семян кукурузы (сорт С-8350, урожая 1940 г., Сухуми) 0,01% K_2O . Это обстоятельство дает нам основание предполагать, что вывод о наличии лишь незначительных количеств калия в связи с липидными веществами в зрелых семенах подсолнечника может иметь гораздо более общее значение, распространяясь и на зрелые семена хлебных злаков и, может быть, на зрелые семена других растений.

В серноэфирных экстрактах стебля и листьев подсолнечника сорта 1646 мы нашли на стадии уборочной зрелости (пожелтение корзинок), на которой собраны и семена, лишь 0,01% K_2O при огромном общем содержании калия в стеблях и листьях (соответственно, 3,05 и 2,90%). Количества липидного калия в стебле и листьях подсолнечника незначительны, однако представляют отличия от семян подсолнечника, где найдены лишь следы K_2O . Изучение серноэфирных экстрактов листьев на разных стадиях развития показало следующую картину:

	K_2O в % от абс. сух. веса
Перед цветением, 10 VII (черешки)	0,04
Полное цветение, 20 VII (пластинки)	0,11
Уборочная зрелость, 10 VIII (пластинки)	0,01

Обращает на себя внимание значительное содержание растворимого в серном эфире калия на стадии полного цветения (0,11% K_2O); проведенная нами экстракция более специфичным липидным растворителем — петролейным эфиром дала 0,04% K_2O ; следовательно, серный эфир из листьев извлекает, повидимому, значительные количества нерастворимых в петролейном эфире, может быть, нелипидных (например органических кислот и их солей) веществ, содержащих калий. На основе данных по содержанию калия в петролейно-эфирном экстракте следует признать наличие незначительных количеств липидных соединений калия в листьях на определенных стадиях онтогенеза.

Как известно, часть фосфатидов («связанные» фосфатиды) не извлекается серным эфиром (15). В примененной нами схеме обработки материала растворителями по Ваксману и Стевенсу связанные фосфатиды в значительной степени должны переходить в спиртовую вытяжку. Однако содержание калия в спиртовой вытяжке не может служить точным показателем калия, могущего быть связанным со «связанными» фосфатидами, поскольку не исключена возможность перехода в спиртовую вытяжку и других (нелипидных) соединений калия. Во всяком случае, содержание калия в спиртовых вытяжках (от следов до 0,07%) не указывает на возможность сколько-нибудь значительных количеств соединений связанных фосфатидов с калием как в семенах, так и в вегетативных частях растений. Обращает на себя внимание более значительное содержание калия (0,13%) в спиртовой вытяжке из ядра незрелых семян, но и здесь мы не можем приписать это количество калия лишь липидным соединениям.

Тот факт, что как в семенах, так и в вегетативных частях подсолнечника соединения калия не переходят в одну какую-либо вытяжку, а распределяются между несколькими вытяжками и частично остаются в остатке после обработки растворителями, показывает, что калий не входит в какое-либо одно индивидуальное соединение, а связан в ряде соединений, причем эти соединения различаются по своей растворимости. Возможно, что соединения калия, входящие в состав каждой из

этих вытяжек, также могут быть далее фракционированы. Так, проведенное нами исследование наиболее богатой калием водной вытяжки, полученной при комнатной температуре, показывает, что воднорастворимые соединения калия также не являются индивидуальным соединением, а состоят из ряда соединений. Это выяснилось в результате следующих опытов.

1. Водная вытяжка осаждалась основным уксуснокислым свинцом обычным способом, после отфильтровывания полученного осадка вытяжка освобождалась от избытка свинца пропусканием сероводорода, фильтрат от осадка сернистого свинца выпаривался, озолялся, в золе определялся калий. Оказалось, что в фильтрате содержание калия было ниже, чем в исходной вытяжке, — часть калия удалялась при осаждении уксуснокислым свинцом. Например, в опыте с водной вытяжкой из листьев содержание калия составляло в вытяжке 2,22%, в фильтрате после осаждения уксуснокислым свинцом 1,91%, а в опыте с водной вытяжкой из семян № 1646 урожая 1945 г. содержание калия в вытяжке 0,52%, в фильтрате после осаждения уксуснокислым свинцом 0,34%. Таким образом, в водной вытяжке содержатся соединения калия, осаждаемые и не осаждаемые уксуснокислым свинцом.

2. Водная вытяжка выпаривалась досуха, сухой остаток обрабатывался несколькими порциями горячего спирта 96°, полученный спиртовый экстракт упаривался, озолялся, в золе определялся калий. Обнаружено, что спиртовый экстракт содержал всегда некоторое количество калия (например, из водной вытяжки листьев до 0,81%). Таким образом, среди воднорастворимых соединений калия содержатся как спирторастворимые, так и не растворимые в спирте соединения калия.

То обстоятельство, что часть воднорастворимых соединений калия осаждается уксуснокислым свинцом, определенно указывает на наличие соединений калия с органическими веществами, поскольку осаждение минеральных солей калия уксуснокислым свинцом мало вероятно. Наличие соединений калия, не растворимых в воде и спирте и растворимых в 2% растворе соляной кислоты, а также соединений калия, находящихся в остатке после обработки примененными растворителями, также указывает на нахождение органических соединений калия, конечно, отличающихся от воднорастворимых органических соединений калия.

Всесоюзный научно-исследовательский
институт жиров, Ленинград

Поступило
5 III 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ M. Berthelot et G. Andre, C. R., **105**, 911 (1887). ² M. Berthelot, C. R., **141**, 793 (1905). ³ F. Czarek, Biochemie d. Pflanzen, II, Jena, 1925. ⁴ М. А. Егоров, Вопросы зольного питания растений, Харьков, 1923. ⁵ S. Kostytschew u. P. Eliasberg, Z. physiol. Chem., **111**, 228 (1920). ⁶ С. П. Костычев, Физиология растений, 3-е изд., 1, М.—Л., 1937. ⁷ D. Hoagland, Lectures on the Inorganic Nutrition of Plants, Waltham, 1944. ⁸ С. И. Иноземцев, Из результ. вегетац. опыт. и лаборат. работ. **15**, 85 (1930). ⁹ С. И. Иноземцев, Изв. АН СССР, сер. биол., **3**, 977 (1937). ¹⁰ Ф. Украдыга, ДАН, **33**, 297 (1941). ¹¹ Е. И. Ратнер, ДАН, **62**, 413 (1948). ¹² С. А. Ваксман и К. Р. Стевенс, Система приближенного химического анализа растительных веществ, М.—Л., 1932. ¹³ А. М. Голдовский и М. И. Лешкевич, Биохимия, **3**, 9 (1938). ¹⁴ А. М. Голдовский и М. З. Подольская, Биохимия, **4**, 352 (1939). ¹⁵ А. М. Голдовский, Химия масляных семян и продуктов их переработки, М.—Л., 1939.