

Лекція 15. Позакореневе надходження

Можливість надходження радіонуклідів до рослин через поверхню листя та інших надземних органів була встановлена ще в досліджах з некореневим підживленням мінеральними елементами. Найбільш активно радіоактивні речовини поглинаються листям (листова поглинання) та квітками (флоральне поглинання). Виділяють також поглинання з дернини поверхневим корінням. Але воно властиве тільки для тих видів рослин, які мають таке коріння. Листова поглинання радіоактивних речовин характерне практично для всіх видів рослин за винятком, можливо, деяких видів ксерофітів – рослин, покритих товстою кутикулізованою оболонкою, з незначною кількістю продохів та видозміненим у колочки листям. Для багатьох видів важливим є також флоральне поглинання радіоактивних речовин. Його питомий внесок визначається розміром квітки, її формою, місцем розташування квітки в суцвітті, на рослині. Зрозуміло, що великі квітки розоцвітих, суцвіття хлібних злаків, які розміщені на відкритих частинах рослин, вбирають більше радіоактивних речовин, ніж рослини, що мають невеликі квітки, які розташовані поодинокі. У випадках флорального поглинання може відбуватися суто механічний захват великих радіоактивних частинок квітками з наступним їх включення до плоду. Саме така ситуація склалася в Україні з плодово-ягідними культурами навесні 1986 р., коли розпал аварії на Чорнобильській АЕС співпав з періодом масового цвітіння садів. В результаті фрукти і ягоди врожаю того року на значній території північної частини України містили рівні радіонуклідів, що перевищували допустимі санітарно-гігієнічні нормативи.

Першим етапом процесу позакореневого забруднення рослинності є осадження радіоактивних речовин на поверхню вегетуючих рослин. Цей етап за своєю природою може бути віднесений до фізико-механічних процесів, серед яких основними є або дифузійне переміщення радіоактивних речовин з повітряної маси до поверхні рослин, якщо речовини знаходяться в парогазовій фазі (наприклад, радіоактивний йод), або у складі дрібнодисперсної практично невагомої, такої, що не піддається силам інерційного і гравітаційного осадження фракції радіоактивних частинок, або інерційно-гравітаційне осадження частинок аерозолі в твердій або рідкій фазі при проходженні турбулентного повітряного потоку через рослинний покрив.

Початкова фіксація радіоактивного матеріалу на поверхні рослин може бути розглянута як сукупність процесів механічного закріплення крапель або частинок і сорбції радіонуклідів.

Розчинні радіоактивні речовини адсорбуються листковою поверхнею і проникають всередину через кутикулу листка. У основі проникнення лежать іонно-обмінні процеси, які характерні як для іонів стабільних, так і радіоактивних елементів. Кутикулярний шар листя різних видів рослин має різну товщину. Товстий кутикулярний шар деяких рослин сильно перешкоджає проникненню радіонуклідів. Проте на листку існують специфічні місця, доступні для проникнення, – це епідермальні клітини над поверхнею жилок і волоски. Місця найбільшої природної проникності водно-розчинних речовин знаходяться також над антиклинальними епідермальними клітинними стінками, через які пересувається транспіраційний потік.

Подальше пересування радіонуклідів в генеративні органи рослин визначається як фізико-хімічними властивостями радіонуклідів, так і біологічними особливостями рослин. Наприклад, ^{137}Cs пересувається від листка, на який він був нанесений, у 100 разів швидше, ніж ^{90}Sr . Пересування елементів в продуктивні органи залежить від віку рослин і фізіологічного стану тканин, на які потрапили радіонукліди. Із старого листя радіонукліди пересуваються інтенсивніше, ніж з молодого.

Первинне затримання радіонуклідів при попаданні їх на рослини в розчинній формі змінюється залежно від періоду вегетації.

Для деяких радіонуклідів некореневий шлях надходження до рослини є основним, а інколи – єдиним. Це, в основному, відноситься до радіонуклідів, що викидаються у складі

газоподібних відходів, таких як ^{131}I , ^{129}I . Величина затримання залежить від особливостей будови рослин, міри розвитку листової поверхні і коливається від 6 до 50%.

Радіонукліди йоду, що потрапили на надземні частини, пересуваються по рослині і дуже швидко до половини його, нанесеного на листя, виявляються в інших частинах рослин і 35–45% у внутрішніх тканинах листя.

На процеси затримання і подальшого перерозподілу твердих аерозолів впливають різні чинники:

- щільність проективного покриття листя на одиницю площі посіву;
- форма, розмір і орієнтація окремого листя;
- характеристика поверхні листя;
- швидкість вітру під час випадання частинок;
- дисперсність випадаючих частинок;
- відносна вологість під час випадань;
- кількість атмосферних опадів в період осадження частинок та ін..

На відміну від розчинних випадань, які в основному затримуються листовою поверхнею, частинки, особливо великі, найчастіше затримуються в пазухах між листовою обгорткою і стеблом. Так, за даними американських радіоекологів при запилюванні рослин сорго твердими радіоактивними аерозолями в пазухах і обгортках листя затримується до 75% частинок проти 24% на листках від усіх затриманих рослинами частинок.

Чим більші частинки випадають, тим менше коефіцієнт їх затримання. Затримання частинок аерозолу розміром менше 40 мкм може досягати декількох десятків відсотків.

У інших експериментах вивчали затримання твердих частинок посівами п'яти різних сільськогосподарських культур. Результати показали, що різниця в первинному затриманні нанесених на посів оплавлених частинок для різних культур сягає 10 разів. Найбільша кількість радіонуклідів затримують рослини з більшою листовою поверхнею на одиницю поверхні ґрунту.

Затримання значною мірою залежить від метеоумов в період випадання аерозолів. Експериментально було показано, що затримання твердих частинок вологими рослинами майже втричі вище ніж сухих.

Обов'язковою умовою для проникнення радіонуклідів всередину рослини є наявність вологи. Змочуваність листя різних видів рослин залежить від дуже багатьох факторів: форми листя, опушення, товщини кутикули, наявності в ній жирів, віку листя, нарешті води в самому листі. Чим довше відбувається контакт вологи з поверхнею листя, тим більше радіоактивних речовин надходить до нього. Тривалість зволоження залежить від температури, вологості, руху повітря, тобто факторів, які впливають на швидкість випаровування. Через молоді листя радіонукліди проникають швидше, ніж через старіші. Товста кутикула та підвищений вміст у ній жирів становлять перепону для їх надходження.

Радіонукліди, як і звичайні елементи живлення, надходять всередину листя шляхом поглинання та обміну з кутикулою та стінками клітин. Певну роль можуть відігравати продихи, хоча питомий внесок їх у цей процес поки що не оцінений.

Частина поглинутих радіоактивних речовин може залишатися в регіоні їх проникнення в рослину, а частина, що включається в транспортні системи, може пересуватися і нагромаджуватися в усіх органах, в тому числі і господарсько-корисних, які формують урожай. Їх доля залежить від хімічних властивостей радіонуклідів, фізіологічної ролі елемента, специфіки виду рослини, її фізіологічного стану. Більш інтенсивно пересуваються по рослині радіонукліди цезію, йоду; значно повільніше – стронцію, церію, рутенію, цирконію, барію.

Зокрема ^{137}Cs , потрапляючи на листя та інші частини рослини, як і калій, швидко пересувається до інших органів і здатний у досить значних кількостях нагромаджуватись як в зерні злаків і зернобобових, так і у бульбах картоплі і коренеплодах. Із загальної кількості ^{137}Cs , яка надходить в кукурудзу через листя, біля чверті накопичується у насінні. При нанесенні його на листя соняшника в насінні нагромаджується близько 20%. В той же час вміст ^{90}Sr складає лише соті і тисячні частки процента (табл. 3).

Належачи до категорії найважливіших елементів живлення, калій має надзвичайно високу здатність щодо пересування по рослині. Подібно калію поводять себе і його хімічні аналоги – не тільки цезій, але й рубідій, натрій, літій. Роль кальцію в організмі рослин дещо менша, він бере участь у значно меншій кількості обмінних реакцій. Тому і стронцій разом з ним надходить і нагромаджується в рослинах у значно менших кількостях.

Позакореневе надходження радіоактивних речовин в рослини може відбуватися впродовж усього періоду вегетації, внаслідок чого воно залежить від ступеня наявності листя у рослин, пов'язаного з фазою їх розвитку в період випадання радіоактивних опадів.

На позакореневе надходження радіонуклідів з радіоактивних частинок, що осіли на поверхні рослин, великий вплив мають погодні умови – частинки можуть змиватись під час дощу, здуватись вітром. Утримання радіоактивних речовин на рослинах в подібній ситуації головним чином визначається формою окремих органів, їх механічними властивостями.

Внаслідок вітрового підняття і переносу радіоактивного пилу з поверхні землі, а також під час дощу і штучного зрошення дощуванням стає можливим вторинне забруднення надземних частин рослин радіонуклідами.

Це необхідно ураховувати при розробці заходів зі зменшення їх надходження до рослин.

При аварії на Чорнобильській АЕС основна маса радіонуклідів випала протягом перших 2–3 тижнів кінця квітня–початку травня і прямому позакореневому забрудненню були піддані в основному озимі види, природні та сіяні багаторічні трави, плодові культури. Для решти рослин основним джерелом радіонуклідного забруднення стало саме вторинне аеральне забруднення за рахунок підйому ґрунтових частинок з вітром та з бризками дощу. Внесок забруднення рослин через корені ще був незначним.

В цілому рівень забруднення рослин радіонуклідами у випадку прямого попадання на надземні частини визначається кількістю свіжих радіоактивних опадів. У той же час їх проникнення через кореневу систему залежить від загальної кількості опадів, що випали на поверхню ґрунту. І якщо з часом позакореневе надходження в рослину радіоактивних речовин зменшується, то проникнення їх з ґрунту через корені може навіть зростати.

Контрольні питання

- 1) Чинники, що впливають на затримання і подальшого перерозподілу твердих аерозолів?
- 2) Шляхи поглинання та пересування радіонуклідів у рослинах?