

# Фосфор і хвороби рослин

**Anne S. Prabhu, Nand K. Fageria, and Rodrigo F. Berni**

*National Rice and Bean Research Center of Embrapa*

*Santo Antonio de Goias, Goias, Brazil*

**Fabricio A. Rodrigues**

*Department of Plant Pathology*

*Federal University of Vigosa, Vigosa, Minas Gerais, Brazil*

## Вступ

Фосфор (P) є необхідною поживною речовиною для рослин, а дефіцит P в ґрунті значно знижує врожайність сільськогосподарських рослин. Центральна роль фосфору в рослинах полягає в передачі енергії та білковому обміні. У зернових культур фосфор відповідає за збільшення кількості пагонів, а отже, і кількості волотей/колосся і врожайності зерна. У бобових внесення фосфору збільшує кількість стручків на рослину або на одиницю площі, масу 100 зерен і врожайність зерна. Добре задокументовано роль фосфору у підвищенні врожайності на кислих сильно звітраних (деградованих) ґрунтах (Fageria and Baligar 2001a; Fageria 2002). Інформація про вплив фосфорного живлення на хвороби рослин є недостатньою та суперечливою. Проте численні дослідження повідомляли, що збалансована та адекватна родючість зменшує стрес рослин, покращує фізіологічну стійкість та знижує ризик захворювання для будь-якої культури (Fageria et al. 1997; Krupinsky et al. 2002). Метою цього розділу є огляд найбільш нової доступної інформації про роль P у боротьбі з хворобами рослин.

## Кругообіг фосфору в ґрунті

Кругообіг фосфору в ґрунті — це динамічний процес, у якому беруть участь ґрунт, рослини та мікроорганізми. Основними процесами в циклі P є поглинання рослинами, рециркуляція через повернення рослинних і тваринних залишків, фіксація глиною та оксидами, біологічний оборот через мінералізацію-імобілізацію та розчинення мінерального фосфату внаслідок діяльності мікроорганізмів (Стівенсон 1986). Ґрунтовий P існує в органічній та неорганічній формах. Органічний P складається з нерозкладених залишків, мікробів та органічних речовин у ґрунті. Неорганічний P зазвичай асоціюється із сполуками алюмінію, заліза та кальцію різної розчинності та доступності для рослин. Фосфор переміщується до коренів рослин в основному шляхом дифузії і вважається нерухомим поживним елементом у ґрунті. У більшості ґрунтів вміст P у поверхневих горизонтах більший, ніж у підґрунтових, через сорбцію внесеного P, більшу біологічну активність, кругооборот P від коренів до надземної біомаси рослин та наявність більшої кількості органічного матеріалу в поверхневих шарах. У системах мінімальної обробки ґрунту P зазвичай накопичується в ґрунті на 5-10 см під поверхнею через те, що його не заробляють або заробляють на малу глибину.

Рослини поглинають P у формі  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  або  $\text{HPO}_4^{2-}$ , залежно від pH ґрунту. Поглинання  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  переважає в ґрунті з pH менше 7,2, а поглинання  $\text{HPO}_4^{2-}$  у ґрунті з pH більше 7,2 (Tisdale et al. 1985). На динаміку вмісту фосфору в ґрунті може впливати

інтенсивність та диверсифікація посівів (Grant et al. 2002). Інтенсифікація посівів за відсутності надходження P з добрив або органічних добавок призведе до виснаження ґрунтового P. Тип вирощуваної культури також вплине на виснаження P, оскільки культури відрізняються за потенціалом урожайності та кількістю P, яку виносять у зібраній частині в урожаї (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 Вихід сухої речовини пагонів і зерна та кількість поживних речовин, вилучених у зібраній порції п'яти продовольчих зернових культур

Культура	Урожай стебел/соломи (кг/га)	Урожай зерна (кг/га)	N (кг/га)	P (kg ha <sup>-1</sup> )	K (кг/га)
Рис гірський [на підвищених елементах рельєфу]	6,104	4,413	126	12	206
Рис низинний [у пониженнях]	9,423	6,389	158	29	176
Кукурудза	11,006	8,221	199	21	187
Квасоля	1,496	1,466	87	7	60
Соя	2,119	1,498	124	12	58

<sup>a</sup>Джерело: Fageria and Baligar 2001b

## Функції фосфору в рослинах

Фосфор, поряд з азотом і калієм, є необхідною поживною речовиною для росту і розмноження рослин. Без достатнього запасу P рослина не може досягти свого максимального потенціалу врожайності. Оскільки P рухливий у рослині, симптоми дефіциту P спочатку з'являються у старших листках. Помітними симптомами дефіциту P, окрім затримки росту та зниження врожайності, є фіолетове або червонувате забарвлення старих листків. Фосфор не входить до складу хлорофілу, тому при дефіциті P концентрація хлорофілу в листках стає відносно високою, а листя (особливо молоде) стає темно-зеленим.

Фосфор також відіграє важливу роль у багатьох рядах ферментативних реакцій. Коли надходження P недостатнє, сповільнюється поділ клітин, і вся рослина стає карликом. Дефіцит фосфору також пригнічує енергійне кущення, особливо рису. Дефіцит фосфору значно знижував розвиток коренів у гірського рису, квасолі звичайної, кукурудзи, сої та пшениці, вирощених на бразильському Oxisol [латеритних червоних ґрунтах тропічного поясу] (Fageria and Gheyi 1999). Важливою функцією P в рослинах є його роль у накопиченні та передачі енергії через аденозиндифосфат (АДФ) і аденозинтрифосфат (АТФ). Фосфор також бере участь у транспорті електронів в окислювально-відновних реакціях і відіграє регулюючу роль в утворенні та переміщенні таких речовин, як цукри та крохмаль. Він важливий у процесах дозрівання та утворення насіння. У гірському рисі, вирощеному в центральній Бразилії, спостерігалася 10-денна затримка на ділянках, які не отримували фосфору, порівняно з ділянками, які отримували достатню кількість фосфору (Fageria and Gheyi 1999). Фосфор також бере участь у симбіотичній фіксації азоту в бобових культурах.

## Вплив фосфору на хвороби рослин

Результати кількох польових і тепличних експериментів свідчать про те, що високі концентрації P можуть або зменшити, або збільшити розвиток хвороби. Фосфор підвищує стійкість рослин до різних хвороб за рахунок збільшення вмісту P у тканині або прискорення дозрівання тканини для захисту від патогенів, які вражають молоді

частини рослин. Декілька випадків підвищення резистентності через достатнє фосфорне живлення пояснюють підвищенням сили рослин і впливом на певні патогени. Високоспеціалізовані патогени, як правило, атакують сильнорослі рослини, тоді як менш спеціалізовані атакують ослаблені рослини, хоча є винятки з цих узагальнень. Загалом, вплив внесення фосфору на тяжкість захворювання не настільки очевидний у високорезистентних або високочутливих сортів, як у сортів середньої стійкості. Анатомічні, біохімічні або фізіологічні зміни у відповідь на атаку паразитів можуть підвищити стійкість рослин. Вищі рівні фунгістатичних речовин, таких як фенольні сполуки та флавоноїди, накопичуються в клітинах епідермісу листя, стебла та коренів. Фосфор, внесений у ґрунт, може безпосередньо впливати на патогенні мікроорганізми, що переносяться в ґрунті, а також на їх господарів, але при хворобах, спричинених повітряно-крапельними патогенами, P, швидше за все, впливає на інфекцію, модифікуючи захисні механізми рослин. Фосфітна кислота (H<sub>3</sub>PO<sub>3</sub>) або її солі сприяють зростанню рослин навіть за відсутності хвороботворних мікроорганізмів, у результаті перетворення фосфіту на фосфат у ґрунті (Rickard 2000). Існує велика кількість літератури про вплив P на захворюваність і тяжкість захворювань. Однак більшість інформації отримано з досліджень застосування добрив у польових і тепличних умовах, з деякими суперечливими результатами.

### **Грибкові захворювання**

Внесення фосфору в ґрунт може посилити або придушити патогенні мікроорганізми, що переносяться повітрям і ґрунтом, і які викликають захворювання кількох важливих культур (Таблиця 4.2). Фосфор зменшує розвиток деяких іржастих патогенів та інших патогенних мікроорганізмів листя, скорочуючи вегетаційний період, і є особливо корисним для протидії високим рівням N (Huber 1989). Високий рівень фосфору в ґрунті був пов'язаний з сильним проявом іржі цукрової тростини, спричиненої *Puccinia melanocephala* Syd. & P. Syd., у семи різних місцях у Флориді (Anderson et al. 1990). За даними Andrade (1991), збільшення тяжкості іржі цукрової тростини зі збільшенням вмісту P пов'язане зі скороченням латентного періоду [патогену] та збільшенням спороношення. Внесення фосфорних добрив вважалось одним із факторів, пов'язаних із поширенням септоріозної плямистості пшениці, спричиненої *Septoria nodorum* (Berk.) Berk. in Берк. & Broome і *S. tritici* Roberge in Desmaz. (Leath et al. 1993). Хоча удобрення P мало помірний пригнічувальний вплив на іржу листя, підвищення врожайності зерна пшениці в першу чергу пояснювалося високим куцненням (Sweeney et al. 2000). Фосфор сам по собі або в поєднанні з калієм підвищував стійкість пшениці до борошнистої роси, спричиненої *Erysiphe graminis* DC. f. sp. *tritici* Ém. Marchal, в результаті збільшення кількості фенольних сполук і активації поліфенолоксидази в листках (Yurina et al. 1997). Аналіз зразків листя резистентних і сприйнятливих генотипів нуту (*Cicer arietinum* L.), заражених *Ascochyta rabiei* (Pass.) Labrousse, показав, що градієнти P і калію були вищими в резистентних генотипах, тоді як вміст азоту був вищий у чутливих генотипів. (Khirbat and Jalali 1999).

Таблиця 4. Вплив P на деякі грибкові хвороби

<b>Господар</b>	<b>Хвороба</b>	<b>Патоген</b>	<b>Вплив P<sup>a</sup></b>
Буряк	Гниль	<i>Phoma</i> spp.	D
Капуста	Борошниста роса	<i>Peronospora parasitica</i>	D
	Фузаріозне пожовтіння	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>conglutinans</i>	I
	Кила	<i>Plasmodiophora brassicae</i>	I
Зернові	Іржа	<i>Puccinia</i> spp.	D
	Борошниста роса	<i>Erysiphe graminis</i>	I, D
	Стеблова іржа	<i>Puccinia graminis</i>	I
	Коренева гниль	<i>Pythium arrhenomanes</i>	D

Цитруси	Коренева гниль	<i>Thielaviopsis basicola</i>	I
Хвойні	Випрівання	<i>Fusarium oxysporum</i>	D
Кукурудза	Стеблова гниль	<i>Diplodia zeae</i>	I
	Стеблова гниль	<i>Gibberella zeae</i>	D
	Коренева гниль	<i>Gibberella saubinetii</i>	D
Бавовник	В'янення	<i>Fusarium oxysporum f. sp. vasinfectum</i>	I, D
	Коренева гниль	<i>Phymatotrichum omnivorum</i>	I
Огірок	Випрівання	<i>Rhizoctonia solani</i>	D
	Мільдю	<i>Sphaerotheca fuliginea</i>	D
Льон	Іржа	<i>Melampsora Uni</i>	I, D
Герань	Коренева гниль	<i>Pythium ultimum</i>	D
Женьшень	Коренева гниль	<i>Thielaviopsis basicola</i>	D
Гладіолус	Пожовтіння	<i>Fusarium oxysporum f. sp. gladioli</i>	D
Виноград	Борошниста роса	<i>Plasmopara viticola</i>	I, D
Сочевиця	В'янення	<i>Fusarium oxysporum f. sp. lentis</i>	I
Салат	Мільдю	<i>Bremia lactucae</i>	I
Горох	Випрівання	<i>Rhizoctonia solani</i>	D
Сосна	Веретеноподібна іржа	<i>Cronartium fusiforme</i>	I
Картопля	Фітофтороз	<i>Phytophthora infestans</i>	I, D
Червона конюшина	В'янення	<i>Fusarium spp.</i>	D
Рис	Стеблова гниль	<i>Sclerotium oryzae</i>	I
	Захворювання рису	<i>Pyricularia grisea</i>	I, D
Жито	Стеблова сажка	<i>Urocystis occulta</i>	D
Сорго	Сажка	<i>Sphacelotheca sorghi</i>	D
Соя	Коренева гниль	<i>Rhizoctonia solani</i>	D
Цукрова тростина	Іржа	<i>Puccinia melanocephala</i>	D
	Eye spot	<i>Helminthosporium sacchari</i>	D
Тимофіївка	Снігова пліснява	<i>Sclerotinia borealis</i>	D
Тютюн	Коренева гниль	<i>Thielaviopsis basicola</i>	D
Томат	Альтернاریоз	<i>Alternaria solani</i>	D
	Плямистість листя	<i>Septoria spp.</i>	D
	В'янення	<i>Fusarium oxysporum f. sp.</i>	I, D
Конюшина	Коренева гниль	<i>lycopersici Fusarium spp.</i>	D
Дернові трави	«клаптикова» хвороба	<i>Gaeumannomyces graminis</i>	D
Пшениця	Сажка	<i>Urocystis tritici</i>	D
	Борошниста роса	<i>Erysiphe graminis f. sp. tritici</i>	I, D
	Bunt	<i>Tilletia spp.</i>	I, D
	Take-all	<i>Gaeumannomyces graminis</i>	D
	Парша	<i>Gibberella zeae</i>	I
	Коренева гниль	<i>Helminthosporium sativum</i>	I, D
	Плямистість	<i>Septoria nodorum</i>	I
	Плямистість	<i>Septoria tritici</i>	I
Біла сосна	Коренева гниль	<i>Polyporus schweinitzi</i>	D

<sup>a</sup>D - зменшення хвороби I – збільшення хвороби

Полеві експерименти, проведені в Японії впродовж кількох років, показали, що вплив удобрення P на грибкове захворювання [*Magnaporthe grisea*] рису, як правило,

невеликий, за винятком високого рівня внесення азоту (Kozaka 1965). Ці дослідження захворювання рису в зрошуваній екосистемі в Японії можна підсумувати таким чином: P загалом має незначний вплив або зовсім не впливає на частоту захворювання рису; коли P є лімітуючим фактором, його великі дози зменшують тяжкість захворювання; коли рівень P є достатнім для росту і розвитку рослин, збільшення доз може збільшити тяжкість захворювання; і P збільшує тяжкість захворювання лише тоді, коли N застосовується на високих рівнях.

Таблиця 4.3. Вплив фосфору та цинку на захворюваність листя рису [Magnaporthe grisea]

Рівень поживного елементу (кг/га)	Частота захворювання (%) <sup>b</sup>
Фосфор	
0	18,83
22	27,66
44	35,76
66	21,16
Цинк	
0	14,44
5	27,87
10	31,60
15	30,03

<sup>a</sup> адаптовано з Prabhu 1983

<sup>b</sup> Кількість спороносних уражень на 100 стебел через 57 днів після посіву.

Дослідження, проведені з метою визначення впливу чотирьох рівнів P, чотирьох рівнів цинку та двох рівнів кальцію, у всіх комбінаціях, на врожайність гірського рису, що росте в саванних ґрунтах в Бразилії, показали значну реакцію врожаю на удобрення P (Fageria і Zimmermann 1979). У тому ж експерименті ступінь ураження листя збільшувалася зі збільшенням рівня P. Проте відбулося значне зменшення кількості уражень на лист із збільшенням норми P з 44 до 66 кг/га, незважаючи на збільшення кількості стебел та площі листя, що створювало сприятливі умови для розвитку захворювання рису [Magnaporthe grisea]. Вища норма кальцію не вплинула на захворювання листя. Однак застосування P у дозі 66 кг/га і вапна у дозі 4 т/га призводило до дефіциту цинку. Дефіцит цинку був пов'язаний із підвищенням рН в результаті застосування кальцію. Фосфор також впливав на засвоєння цинку в результаті хімічної реакції в ґрунті або антагонізму між двома елементами в рослині. Корекція ґрунту цинком посилювала захворювання, оскільки кількість уражень збільшувалася зі збільшенням вмісту цинку (табл. 4.3). Дослідження показало важливість взаємодії цих елементів у впливі на ріст рослин, врожайність та розвиток захворювання. В іншому експерименті (Prabhu 1983) індекс тяжкості захворювання волоті рису [Magnaporthe grisea] збільшувався із збільшенням рівня P у ґрунті (рис. 4.1).

Тяжкість захворювання волоті у чотирьох генотипах гірського рису в Бразилії була пов'язана з концентрацією поживних речовин у тканинах волоті. Концентрації P, азоту та магнію в тканинах позитивно корелювали з тяжкістю захворювання волоті, тоді як концентрації калію та кальцію негативно корелювали із тяжкістю захворювання (Filippi and Prabhu 1998). Неоптимальні рівні переважно P впливали на частоту виникнення бурої плямистості листя, спричиненої *Cochliobolus myabeanus* (Ito & Kuribayashi) Drechs. ex Dastur, у зрошуваному рисі (Phelps and Shand 1995).

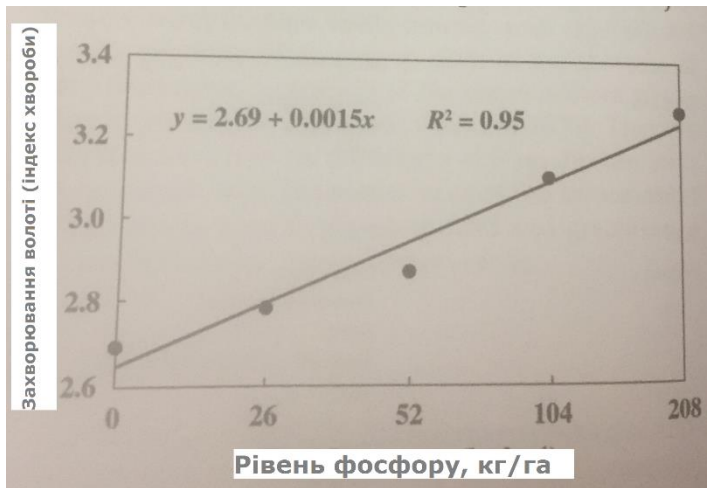


Рисунок 4.1 Ефект рівня внесення фосфору на важкість захворювання волоті рису (адаптовано з Prabhu 1983)

Здається, що фосфор має більш виражений вплив на захворювання, викликані грибами, що передаються в ґрунті, ніж на захворювання, спричинені грибами, що передаються повітрям. Патогени, що передаються в ґрунті, впливають на розвиток коренів, і для регенерації нових коренів необхідний достатній рівень основних елементів, особливо Р, що дозволяє уникнути хвороби (Huber 1991). Фосфатне підживлення пшениці майже усунуло втрати, спричинені пітіозною (*Pythium*) кореневою гниллю в районах вирощування пшениці в центральних Сполучених Штатах (Huber 1980). Збільшення врожайності було пов'язано зі зниженням інтенсивності корневих гнилей [*Gaeumannomyces graminis*] у сорті пшениці Spear у міру збільшення рівнів застосовуваного Р (Brennan 1995). Фосфатні добрива менш ефективні у зниженні корневих гнилей, коли ріст культури обмежений дефіцитом азоту і навіть може збільшити тяжкість захворювання при високих рівнях внесення азоту. Доступність нерозчинного Р залежить від мікробної активності, корневих ексудатів і рН ризосфери, що може пояснити, чому поглинання Р збільшується нітратом амонію (Huber 1989). Graham and Menge (1982) показали, що застосування Р збільшувало кореневі гнилі пшениці, оскільки це збільшувало вміст Р у тканинах рослин і зменшувало ексудацію амінокислот. У коренях з низьким рівнем Р спостерігалось зниження Р ліпідів, з відповідним підвищенням проникності клітинних мембран, що вплинуло на ексудацію коренів. Кореневі ексудації були пов'язані з активністю патогена. Високий рівень Р зменшував кореневий ексудат і тяжкість захворювання. Біоконтроль корневих гнилей пшениці, спричинених *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) Arx & D. Olivier var. *tritici* J. Walker, негативно корелював з наявним фосфором і рН ґрунту (Duffy et al. 1997). Фосфорне підживлення має тенденцію до посилення звичайної кореневої гнилі ярої пшениці, спричиненої *Cochliobolus sativus* (Ito & Kuribayashi) Drechs. ex Dastur (Goos et al. 1994).

Форма Р, що використовується як фосфатне добриво в Європі [(CaO)<sub>5</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-SiO<sub>2</sub>], може впливати на звичайну паршу картоплі, спричинену *Streptomyces scabies* Lambert & Loria 1989, змінюючи рН ґрунту. І рН ґрунту, і парша підвищувалися після внесення шлаку протягом 4-15 років (Keinath and Loria 1989). Фосфатні добрива мають різний вплив на рН, оскільки вони відрізняються відсотком еквівалентів оксиду кальцію та формою кальцію.

Було показано, що фузаріозне в'янення томатів зростає із збільшенням доз Р, але з високим рівнем кальцію та низьким вмістом Р у ґрунті тяжкість захворювання зменшується (Woltz and Jones 1973). Застосування фосфату понад норми, необхідні для росту томатів, посилювало в'янення томатів при рН 6,0, але хвороба була пригнічена при рН 7,0 та 7,5. Крім того, застосування високих доз Р у ґрунті мало непрямої вплив на стійкість бананів до фузаріозного в'янення, спричиненого

*Fusarium oxysporum* Schlechtend.:Fr. f. sp. *cubense* (E. F. Sm.) W. C. Snyder & H. N. Hans., перешкоджаючи поглинанню цинку рослиною (Alvarez et al. 1981). Застосування фосфору підвищувало захворюваність фузаріозом сочевиці, викликаним *F. oxysporum* f. sp. *lentis* Vasudeva & Sriniv., порівняно з контролем у горщику, з рН у діапазоні від 5,2 до 5,8 і температурою в діапазоні від 24 до 27°C (Kaushal et al. 1998).

Вплив на розвиток рослин та сприйнятливість до кореневої та верхівкової гнилі (спричиненої *Phytophthora capsici* Leonian) у томатів та зеленого перцю досліджували на рослинах, вирощених на гідропоніці, з використанням фосфату або комерційних формуляцій фосфіту як джерела P (Förster et al. 1998). У рослин, оброблених фосфітом, у порівнянні з необробленими або обробленими фосфатом, частота розвитку фітофторозної верхівкової гнилі значно зменшилася. Захворюваність верхівковою гниллю зеленого перцю, обробленого 1 мМ фосфату плюс 0,3 мМ фосфіту, була проміжною між частотою у рослин, оброблених тільки фосфітом (1 або 0,1 мМ), і захворюваністю рослин, оброблених тільки фосфатом (1 мМ). Смертність проростків герані від кореневої гнилі збільшувалась із збільшенням концентрації P у рослинах, заражених *Pythium ultimum* Trow (Gladstone and Moorman 1989).

Тяжкість захворювання, викликаного *Rhizoctonia solani* Kühn у сої, зростає в результаті дефіциту P в ґрунті (Castano and Kemkamp 1956). З іншого боку, згідно з Bloom and Couch (1958), застосування P не вплинуло на бурі ділянки дернової трави, викликані *R. solani*. Зміна рівнів родючості по P не мала успіху у підвищенні стійкості бавовни до *Verticillium dahliae* Kleb. (Pennypacker 1989). Крім того, застосування P не вплинуло на захворюваність стебловою галлицею коріандру, спричиненою *Protomyces macrosporus* Unger (Lakra 2000).

### **Нематодні хвороби**

Загалом, дефіцит поживних речовин у рослинах збільшує тяжкість захворювань нематодами, але зменшує популяцію нематод на об'єм ґрунту. Нематоди зазвичай зустрічаються на піщаних ґрунтах і, живлячись корінням, посилюють дефіцит поживних речовин і роблять рослини схильними до інших захворювань, таких як фузаріоз. Застосування P підвищує стійкість рослин до нападу нематод значною мірою за рахунок збільшення об'єму кореневої системи (Bell 1989). Застосування фосфату може підвищити синтез білка і клітинну активність рослинних тканин, що призводить до підвищення стійкості до нематод. Вищі рівні P і цинку були виявлені в рослинах *Prunus*, заражених *Pratylenchus vulnus* Allen & Jensen, ніж у незаражених рослинах (Pinochet et al. 1996). Популяції *Meloidogyne* spp. у квасолі звичайної та огірка можна зменшити внесенням у ґрунт високих доз P. Види мікоризних грибів підвищують толерантність бавовни до *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood у ґрунтах із значним або незначним дефіцитом P (Bell 1989). Продукування яєць *M. incognita* в рослинах сої, інокульованих мікоризними везикулярно-арбускулярними грибами, пригнічувалося при найнижчих рівнях P. Крім того, підвищене удобрення P, як виявилось, сприяє продукуванню яєць, що вказує на те, що індукована резистентність, ймовірно, пов'язана з покращеним живленням P у хазяїна (Carling et al. 1989). Біохімічні зміни, що виникають внаслідок застосування P, такі як збільшення кількості вітаміну C, рослинних олій, фенолів, пероксидаз та аміаку, не є сприятливими для розмноження рослинних нематод (Zambolim and Ventura 1993).

### **Вірусні захворювання**

Загалом, P може підвищити сприйнятливість рослин до вірусів, оскільки він необхідний для розмноження вірусів. Вірус тютюнової мозаїки може збільшуватися в рослинах томатів і тютюну і зменшуватися в бобах при удобренні P (Huber 1991). Захворюваність вірусом мозаїки сої в рослинах сої, удобрених фосфатом, була знижена при удобренні до 100 кг/га (Pacumbaba et al. 1997). Інфікування вірусом

африканської мозаїки маніоки покращеного сорту маніоки не збільшувалася зі збільшенням рівня Р або калію, але більш високий рівень азоту збільшував тяжкість захворювання (Ogbe et al. 1993).

### **Бактеріальні захворювання**

Захворюваність на м'яку гниль картоплі, викликану *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* (Jones 1901) Bergey et al. 1923 і *E. carotovora* subsp. *atroseptica* (van Hall 1902) Dye 1969 була знижена при більш високих рівнях Р в результаті максимального накопичення фенольних сполук у тканині шкірки і бульб (Karwasra and Parashar 1990).

Підживлення фосфором не впливало на захворюваність рису бактеріальним опіком, спричиненим *Xanthomonas oryzae* (ex Ishiyama 1922) Swings et al. 1990, тоді як калій знижував захворюваність (Mondal and Latif 1996).

Удобрення фосфором рослин квасолі зменшило частоту бактеріального опіку, спричиненого *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* van Hall 1902 (Abd El Moneem et al. 1994).

### **Стратегії управління фосфором для контролю захворювань**

Управління поживними речовинами є ключовим фактором підвищення продуктивності сільськогосподарських культур та контролю хвороб. Управління поживними речовинами в рослинництві означає забезпечення рослин необхідними поживними речовинами в достатніх кількостях і у відповідній формі для отримання максимального економічного врожаю в даній агроекологічній зоні. Потреби культури в поживних речовинах змінюються залежно від ґрунту, кліматичних умов, сорту та методів управління. Соціально-економічні умови фермера та ціна продукції на ринку також визначають рекомендації щодо внесення добрив. Це означає, що стратегії управління поживними речовинами повинні відрізнятися залежно від типу ґрунту, кліматичних умов, видів сільськогосподарських культур, сорту та соціально-економічних факторів.

Нині фермер не може дозволити собі вносити добрива, що перевищують потребу культури, з економічних та екологічних причин. Тому норми внесення добрив повинні збігатися з вимогами культури для отримання економічного врожаю. Однак у практичному землеробстві визначити оптимальну потребу в добривах непросто, оскільки наявність поживних речовин у ґрунті є динамічним процесом і змінюється залежно від вмісту вологи та температури ґрунту, типу добрива, методів управління, і виникнення хвороб, комах і бур'янів і взаємодії між ними. Рослини з дефіцитом поживних речовин часто більш сприйнятливі до захворювань, ніж здорові рослини, але рослини, які отримують великий надлишок необхідної мінеральної речовини, можуть стати схильними до захворювань (Piening 1989). Стратегії, запропоновані тут, безумовно, допоможуть у кращому управлінні Р для ефективного виробництва сільськогосподарських культур та контролю хвороб. Детальне обговорення цих методів управління наведено в недавніх оглядах (Fageria et al. 1997; Fageria and Gheyi 1999).

### **Оптимальна норма застосування**

Оптимальна норма внесення Р зазвичай визначається шляхом порівняння значень результатів аналізу ґрунту з критичним значенням, що відповідає культурі та ситуації, що досліджується. Рекомендації щодо фосфорних добрив зазвичай робляться на основі калібрувальних досліджень. Для перетворення значень ґрунтового тесту для Р у рекомендації щодо добрив потрібні два набори калібрувальної інформації для кожної комбінації культури, типу ґрунту та клімату. Перша інформація про калібрування – це рівень тесту ґрунту Р, який дає максимальну чисту прибутковість на одиницю площі для загального введення виробничих одиниць, враховуючи ситуацію економічного ризику окремого фермера. Друге калібрування пов'язане з



кількістю добрив Р, яка необхідна для досягнення цього тестового рівня. Перші компоненти калібрування повинні ґрунтуватися на інформації про реакцію поля культури з польових досліджень і повинні вказувати рівень Р у ґрунті, після якого не можна очікувати додаткового збільшення врожайності. Значення калібрування Р змінюються залежно від методу екстракції фосфору з ґрунту при аналізі. Тому при проведенні таких досліджень важливо вибрати відповідний екстрагуючий розчин.

### **Оптимальний рН ґрунту**

Доступність Р залежить від рН ґрунту. У більшості ґрунтів максимальну доступність Р можна очікувати в діапазоні рН від слабокислого до нейтрального. У кислих ґрунтах Р реагує із залізом, алюмінієм та марганцем з утворенням нерозчинних продуктів, що робить Р менш доступним. У лужних ґрунтах Р реагує з кальцієм, що знижує доступність Р.

### **Достатнє зволоження**

Важливість води для росту рослин і розвитку сільськогосподарських культур широко визнана. Справді, багато оцінок урожайності ґрунтуються на кореляції між наявною ґрунтовою водою та врожайністю. Поглинання поживних речовин і, отже, ріст рослин залежать від умов, що виникають на межі ґрунт-корінь. Хоча ці умови відрізняються від ділянки до ділянки та від виду до виду, процеси та пов'язана з ними теорія, що регулюють поглинання поживних речовин, повинні бути застосовні до всіх ґрунтів і видів рослин. Ці процеси можна розділити на дві великі групи: (1) надходження поживних речовин у ґрунт і (2) поглинання поживних речовин на поверхні коренів. Вода відіграє важливу роль у цих процесах. Якщо в ризосфері недостатньо вологи, рух Р, що відбувається переважно через дифузю, і, отже, його поглинання обмежуються.

### **Залишкова доступність фосфорних добрив**

Кількісна оцінка факторів, що впливають на доступність внесеного Р у ґрунтах, покращить рекомендації щодо Р добрив та максимізує його ефективність. У цьому контексті важливу роль відіграє залишковий ефект від внесених добрив. Залишковий доступний Р в ґрунті визначається як доступний для рослин Р, видалений послідовним посівом, доки не виникне дефіцит Р або не буде виявлено пряму реакцію росту на доданий Р.

Як довго ґрунт з високим рівнем Р буде підтримувати доступний для рослин Р вище рівня, що обмежуватиме урожайність, має агрономічне значення. Кількісні дані з цього питання були отримані в результаті польового експерименту, в ході якого на ґрунті Портсмута відстежували врожайність сільськогосподарських культур та досліджували ґрунтовий Р (екстрагент Mehlich 1) впродовж восьми років активного накопичення Р та 26 років залишкового зниження (McCollum 1991). Урожайність кукурудзи і сої була максимальна при ґрунтовому тесті Р на рівні 22 г/м<sup>3</sup>, а екстрагований Р підтримувався в цьому діапазоні (20-24 г/м<sup>3</sup>), коли Р видаляли з зібраними продуктами (16 кг/га на рік) і щорічно замінювали стрічковим внесенням добрив. Високі рівні в ґрунтових аналізах (50 г/м<sup>3</sup>) не могли підтримуватися щорічною заміною Р, видаленого сільськогосподарськими культурами, оскільки повернення Р до неекстрагованих форм було більш вагомим фактором у зменшенні запасу Р, ніж видалення з сільськогосподарськими культурами.

### **Додавання органічної речовини**

Опублікована інформація свідчить про те, що продукти розпаду органічної речовини, такі як рослинні рештки, можуть підвищити доступність Р і, отже, врожайність у ґрунтах з високою здатністю до фіксації Р. Ґрунти, багаті на оксиди заліза, такі як Oxisols та Ultisols у тропічних районах, мають низький рівень доступного фосфату

(Fageria and Gheyi 1999). Гумінові та фульвокислоти ковалентно зв'язуються з мінеральними поверхнями заліза і зменшують чистий позитивний заряд поверхні. Зв'язування гальмує перетворення аморфного гідроксиду заліза в кристалічні мінерали заліза, що призводить до зменшення площі поверхні гідроксиду заліза. Sharpley та Smith (1989) спостерігали зменшення зв'язаного P і збільшення доступного неорганічного P, коли різні у ґрунти вносили поживні залишки люцерни, кукурудзи, вівса, сої та пшениці. Вони пов'язували свої висновки з можливим блокуванням і зниженням потенціалу заряду осередків адсорбції P продуктами розпаду рослинних решток.

### ***Достатня аерація ґрунту***

Адекватна аерація ґрунту покращує дифузію P до коренів рослин і, отже, збільшує його поглинання. Ущільнення ґрунту давно відоме своїм згубним впливом на появу сходів, розвиток коренів, інфільтрацію води та ерозію ґрунту. Ущільнення ґрунту характеризують висока щільність складення, менша макропористість і більша механічна міцність. Відомо, що ущільнення ґрунту та недостатня аерація, а також стреси від механічного опору зменшують ріст коренів. Обмеження росту коренів через ущільнення на глибині від обробітку ґрунту в поєднанні з більшими коливаннями вмісту води та температури поверхневого горизонту можуть призвести до більшої вразливості сільськогосподарських культур та стресу від [коливання] аерації, поживних речовин і води.

### ***Використання ефективних сортів***

Використання сортів, які ефективно поглинають P, є перспективною технологією в ефективному рослинництві через високу вартість P добрив та вплив P на навколишнє середовище. Широко повідомлялося, що сорти відрізняються відносною врожайністю на одиницю внесеного або поглинутого ґрунтового P (Fageria et al 1997; Fageria and Gheyi 1999). Відмінності в ефективності P у сортів пов'язані з відмінностями в поглинанні P та використанні P.

### **Висновки**

Зараження рослин патогенами залежить від кількох факторів, які відіграють вирішальну роль у розвитку хвороби, таких як стан ґрунту, сприйнятливість господаря та кліматичні зміни. Отже, боротьба з хворобами є складним питанням і вимагає інтеграції різних методів контролю. Внесення P в ґрунт є звичайною практикою в сільськогосподарському рослинництві. Незважаючи на те, що боротьба з хворобами за допомогою збалансованого удобрення ґрунту є одним із інструментів управління сільськогосподарськими культурами, відповідних досліджень у цій галузі не проводилося з огляду на зростання та розвиток рослин. Інформації про вплив застосування P на механізми резистентності господаря, незалежно від того, чи були вони до або постформовані, мізерна. Наявність достатнього рівня P у середовищі для росту є одним із ключових факторів, і P повинен постачатися у збалансованій формі з іншими поживними речовинами для ефективного контролю хвороб у деяких культурах. Ефективність поглинання P рослинами можна значно підвищити за допомогою відповідних методів управління, пов'язаних із зміною ґрунтового середовища. Реакція сорту на застосування P у відношенні до рівня стійкості до хвороб є сферою досліджень, якою нехтують. Позакореневе обприскування фосфатом для захисту від інфекції може стати альтернативою використанню пестицидів у сільському господарстві та допомогти мінімізувати негативний вплив P на навколишнє середовище.