

酸性土壤中顆粒磷肥施用方法 对其利用情形的影响

于天仁 刘婉蘭 凌雲霄 謝建昌 姚文華 周起崑

(中國科學院土壤研究所)

各種礦物肥料施入土壤中以後，利用率有很大不同，其中以氮肥的利用率最高，磷肥的利用率最低。例如，根據 A. B. 索柯洛夫所引用的材料^[1]，Кениг 的研究結果為：N—80%，K₂O—66%，P₂O₅—25%；Wagner 的研究結果為：在第一年，K₂O 為 40—60%，而 P₂O₅ 則僅為 10—20%。在以後的各生長季，磷的總利用率也很少超過 40%^[2]。這種磷的利用率較其他肥料為低的原因，一般都認為是由於磷肥施入土壤中以後，可以被土壤所固定，因而不能為植物所吸收利用。為了增加磷肥的利用率，常採用一些減少固定的辦法，其中較常用的，是將磷肥層施、條施、穴施，或更做成顆粒狀態，以減少與土壤的接觸機會。在這方面，蘇聯近幾年來的研究材料特別多。但國外已有的文獻，多偏重於考慮對作物產量的影響，而結合化學分析以研究其利用情形的材料則不多。

在我國的酸性土壤，尤其是紅壤中，磷特別缺乏，而這些土壤對於所施入的磷，又往往有極大的固定力^[3]。為了增加磷肥在酸性土壤中的肥效，顆粒磷肥的集中施用應該是一個有希望的辦法。本文的研究目的，就是用盆栽試驗和化學分析的方法，研究不同的顆粒磷肥施用方法對於磷的利用率及植物生長的影響。

一. 試驗方法

所用土壤有兩種：一種是發育於第四紀紅色粘土的紅壤，強酸性，採自江西南昌甘家山紅壤試驗場；一種是發育於赤山砂岩的弱酸性砂壤土，採自南京雨花台附近。兩種土壤的理化性質列於表 1。

標本採回後，風乾，過 $\frac{1}{4}$ 英寸篩，裝入陶土質密氏盆中，紅壤為每盆 6.5 公斤，酸性砂壤土為每盆 7.0 公斤。每盆加 NH₄NO₃ 2.84 克（含 N 1.0 克），K₂SO₄ 0.92 克（含 K₂O 0.5 克）。在整個試驗期間，土壤濕度保持土壤最高含水量的 60% 左右。

在製備顆粒磷肥時，所用重過磷酸鈣含 P₂O₅ 42.2%；含有效性 P₂O₅ 39.3%；有機質

表1 供試土壤的理化性質

土 壤	pH	代換性酸 (毫當量/ 100克土)	代換性鋁 (毫克/ 100克土)	水解性酸 (毫當量/ 100克土)	代換性錳 (毫克/ 100克土)	有效性磷* (毫克/ 100克土)	顆 粒 直 徑			質地分級
							2.0—0.02 毫米(%)	0.02—0.002 毫米(%)	小於0.002 毫米(%)	
紅壤	4.8	0.77	6.46	5.53	0.59	痕跡	24.5	33.5	42.0	壤新土
酸性砂壤土	6.1	0.07	0.42	0	1.77	17.0	72.0	15.5	12.5	砂壤土

* 用0.5 N 醋酸提取, 乞里柯夫法[4]。

為自黑龍江所採的泥炭; 磷灰土為海州所產, 含 P_2O_5 35%; 石灰為燒石灰(CaO)。每種土壤計有十五個處理, 每處理三盆。每盆播 2419 號小麥九粒, 播種深度為 2 厘米。播種後三週、六週及十二週, 分別將土倒出, 每處理每次倒一盆, 用自來水沖洗, 至將所有土粒洗去為止。烘乾, 分別稱根及莖葉重, 然後用三酸法^[5]消化, 用鈳鉬酸鉍法^[6]比色測定磷。

在試驗設計中, 共有五種處理變異: (1) 粉狀與顆粒狀的比較; (2) 顆粒中重過磷酸鈣與有機質的比例; (3) 顆粒的直徑大小; (4) 顆粒中的石灰加入量; (5) 施用深度。試驗處理及其說明如表 2。

表2 試驗處理的設計*

盆 号	重過磷酸鈣量 (克)	泥炭量 (克)	石灰量 (克)	狀 态	顆 粒 直 徑 (毫米)	施用深度 (厘米)
O	0	0	0	—	—	
SP	5	0	0	粉 狀	—	與全土混勻
GSP	1.33	0	0	粒 狀	2—4	4—5
G1:2	1.33	2.67	0	粒 狀	2—4	4—5
G1:4	1.33	5.37	0	粒 狀	2—4	4—5
G1:8	1.33	10.67	0	粒 狀	2—4	4—5
G $\frac{1}{3}$ SP $\frac{2}{3}$ RP2T	0.44**	2.67	0	粒 狀	2—4	4—5
G0.5—1	1.33	2.67	0	粒 狀	0.5—1	4—5
G1—2	1.33	2.67	0	粒 狀	1—2	4—5
G4—6	1.33	2.67	0	粒 狀	4—6	4—5
G2%CaO	1.33	2.67	0.08	粒 狀	2—4	4—5
G5%CaO	1.33	2.67	0.2	粒 狀	2—4	4—5
G10%CaO	1.33	2.67	0.4	粒 狀	2—4	4—5
2—6G	1.33	2.67	0	粒 狀	2—4	2—6
6—10G	1.33	2.67	0	粒 狀	2—4	6—10

* SP 代表重過磷酸鈣, G 代表粒狀, RP 代表磷灰土, T 代表泥炭, CaO 代表石灰。

** 另加磷灰土 0.89 克。

二. 試驗結果

(一) 磷肥施用对小麥生長及其含磷量的影响

發育於第四紀紅色粘土的紅壤，幾乎不含有效性磷，在未施磷肥的处理中，小麥幾不能生長，十二週後的植物含磷量仍与种子所含者相等。这与我們用很多其他植物所進行的盆栽試驗結果¹⁾相同。从表 3, 4, 5 可以看出，重过磷酸鈣的施用可以強烈地促進小麥的生長，並使植物中的含磷百分率增加；这种效果在第三週就已相当顯著地表現出來，而到第十二週時，就表現得更为顯著，使植物的產量增加七倍，其中對於莖葉的影响要較对根的影响为大。如果把重过磷酸鈣做成顆粒狀並集中於表層施用，則效果更大。應該注意到，粉狀重过磷酸鈣与全土壤混合時的施肥量，含 P_2O_5 2 克，而顆粒磷肥中的 P_2O_5 量則僅为 0.53 克，即相差三倍。但是在任何一个時期，顆粒磷肥处理的植物重量，都較粉狀混施時为高；到十二週的時候，相差可達一倍以上。在植物体中的含磷量方面，後者也都較前者高出一倍以上。从表 4 可以看出，顆粒磷肥表層施用時，对小麥根或莖葉中的含磷百分率有剧烈影响，而在植物生長的初期尤为顯著。例如，三週時不施磷处理的小麥莖葉含磷 0.20%，粉狀混施处理为 0.28%，而顆粒狀表施处理則为 0.87%，到六週和十二週時，兩種肥料处理的差別就已不大。顯然，这是由於層施時与生長初期的小麥根緊相接觸，因此，易於为植物所吸收，而混施時平均分佈於全土壤中，便沒有这种有利的条件。

表 3 磷肥施用对小麥生長的影响

土 壤	处 理	根 重 (克)			莖 葉 重 (克)			總 重 (克)		
		三 週*	六 週	十二週	三 週	六 週	十二週	三 週	六 週	十二週
紅 壤	未施磷	0.22	0.38	0.76	0.38	0.59	1.00	0.60	0.97	1.76
	粉狀重过磷酸鈣	0.22	1.19	2.48	0.60	2.62	11.85	0.82	3.81	14.33
	粒狀重过磷酸鈣	0.21	1.22	5.59	0.91	4.21	26.30	1.12	5.43	31.89
酸 性 砂 壤 土	未施磷	0.23	1.20	3.02	0.68	2.54	14.40	0.91	3.74	17.42
	粉狀重过磷酸鈣	0.13	1.11	4.08	1.04	6.20	27.26	1.17	7.31	31.34
	粒狀重过磷酸鈣	0.19	1.59	5.70	1.12	7.14	32.20	1.31	8.73	37.90

* 自播种之日算起。

發育於赤山砂岩的酸性砂壤土，因为土壤中含有相当大量的有效性磷(每 100 克土壤中的 0.5N 醋酸提取液含 17 毫克 P)，所以在不施磷的处理中，仍能正常生長，到十二週時，小麥根莖葉總重为紅壤不施磷处理的 10 倍。也正因为这样，所以磷肥的效果便

1) 尙未發表。

不像紅壤中那樣顯著。但是，施肥處理的植物重量仍能增加一倍，而且粉狀混施及粒狀表施之間的差別，也有與紅壤中相同的趨勢。不過，二者在產量上的差別已經不大，而在植物體中的含磷百分率及植物含磷量方面，還有相反的情形，即粉狀混施者較粒狀表施者為高。由於粉狀混施時的磷肥用量為粒狀表施時的四倍，這種情形是很自然的。顯然，土壤的性質在這方面起着重要的作用。

表 4 磷肥施用對小麥含磷百分率的影響

土 壤	處 理	根 (P%)			莖 葉 (P%)		
		三 週	六 週	十二週	三 週	六 週	十二週
紅 壤	未施磷	0.17	0.08	0.06	0.20	0.09	0.06
	粉狀重過磷酸鈣	0.23	0.19	0.15	0.28	0.32	0.18
	粒狀重過磷酸鈣	0.51	0.36	0.16	0.87	0.44	0.18
酸 性 砂 壤 土	未施磷	0.16	0.11	0.13	0.29	0.28	0.14
	粉狀重過磷酸鈣	0.72	0.41	0.44	1.44	0.92	0.55
	粒狀重過磷酸鈣	0.53	0.36	0.20	1.08	0.73	0.25

表 5 磷肥施用對小麥中含磷量的影響(每盆植物所含)

土 壤	處 理	根 (毫克 P)			莖 葉 (毫克 P)			總 重 (毫克 P)		
		三 週	六 週	十二週	三 週	六 週	十二週	三 週	六 週	十二週
紅 壤	未施磷	0.37	0.31	0.46	0.76	0.53	0.60	1.13	0.84	1.06
	粉狀重過磷酸鈣	0.51	2.26	3.72	1.68	8.38	21.33	2.19	10.64	25.05
	粒狀重過磷酸鈣	1.07	4.39	8.94	7.92	18.52	47.34	8.93	22.91	56.28
酸 性 砂 壤 土	未施磷	0.37	1.32	3.93	1.97	7.11	20.16	2.34	8.43	24.09
	粉狀重過磷酸鈣	0.94	4.55	17.95	14.97	57.04	149.93	15.91	61.59	167.88
	粒狀重過磷酸鈣	1.01	5.72	11.40	12.10	52.12	80.0	13.11	57.84	91.90

(二) 顆粒磷肥中的石灰加入量的影響

由於普通過磷酸鈣中含有一定量的游離硫酸或磷酸，所以當過磷酸鈣做成顆粒與種子共同播種時，往往影響種子的發芽。為了減除這種弊害，往往在其中加入一定量的石灰。例如，Остроумова 的結果^[7]，顆粒磷肥與亞麻及芥菜短期接觸，可影響發芽率；Возбуждая 的結果^[8]為，用灰分中和顆粒磷肥的表面，可使小麥發芽良好，並增高肥效；Яковлев 的結果^[9]為，在灰化土區，用石灰中和顆粒磷肥，對馬鈴薯及大麥可有良好影響。

我們所使用的重過磷酸鈣含有相當多的游離磷酸，其 1:2 的水懸液的 pH 值為 2.25。考慮到雖然小麥在播種以前已在砂上發芽一日，因此不致影響到小麥的發芽

率,但这种过多的酸仍可能对植物幼根發生不良影响;另一方面,为了研究顆粒磷肥中的酸度对其利用情形的影响,所以在普通的 1:2 直徑 2—4 毫米的顆粒磷肥中,分別加入 2%, 5% 和 10% 的燒石灰 (CaO); 其試驗結果列於表 6, 7, 8。可以看出,石灰的加入对小麥的初期生長(三週及六週), 反而微有不利的影響, 而到十二週時, 則已沒有顯著差別。这对兩種土壤的情況都是一樣。但是植物中的含磷百分率, 則因顆粒磷肥中的加入石灰而顯著降低, 而且石灰用量愈多, 則降低也愈多。一般說, 在植物生長初期(三週)的影响, 較以後時期(十二週)更为顯著, 在酸性砂壤土中的影响, 較在紅壤中为顯著。例如, 顆粒磷肥中加入 10% 的石灰後, 使在紅壤中生長三週的小麥莖葉, 由原來的含磷 0.84 % 降为 0.70%, 在酸性砂壤土中生長者, 則由 1.05% 降为 0.56%。因为植物体中的含磷百分率及植物重量有所不同, 所以計算起來, 植物体中的含磷量(表 8) 也有同样趨勢。可以看出, 这种影响主要是表現在莖葉部, 而在根部含磷量的差別, 則比較小。顯然, 兩種土壤間的这种差別, 應該与土壤的性質有關。

表 6 顆粒磷肥中的石灰加入量对小麥生長的影响

土 壤	处 理	根 重 (克)			莖 葉 重 (克)			總 重 (克)		
		三 週	六 週	十二週	三 週	六 週	十二週	三 週	六 週	十二週
紅 壤	G	0.19	1.22	4.66	0.78	4.54	20.25	0.97	5.76	24.91
	G2%CaO	0.21	1.03	5.64	0.76	4.13	23.35	0.97	5.16	28.93
	G5%CaO	0.16	1.19	4.97	0.64	3.99	21.13	0.80	5.18	23.10
	G10%CaO	0.19	1.19	5.55	0.67	3.71	21.05	0.86	4.90	26.60
酸 性 砂 壤 土	G	0.17	1.41	2.97	1.11	6.90	26.21	1.28	8.31	29.18
	G2%CaO	0.20	1.23	4.87	1.22	6.57	33.10	1.42	7.83	37.97
	G5%CaO	0.21	1.34	4.63	1.16	5.98	32.10	1.37	7.32	36.73
	G10%CaO	0.18	1.27	5.31	0.93	5.02	27.45	1.11	6.29	32.76

表 7 顆粒磷肥中的石灰加入量对小麥中含磷百分率的影响

土 壤	处 理	根 (P%)			莖 葉 (P%)		
		三 週	六 週	十二週	三 週	六 週	十二週
紅 壤	G	0.47	0.33	0.17	0.84	0.59	0.53
	G2%CaO	0.45	0.33	0.15	0.79	0.55	0.20
	G5%CaO	0.44	0.31	0.18	0.80	0.57	0.21
	G10%CaO	0.36	0.32	0.17	0.70	0.56	0.19
酸 性 砂 壤 土	G	0.52	0.35	0.22	1.05	0.70	0.27
	G2%CaO	0.45	0.25	0.17	0.98	0.58	0.21
	G5%CaO	0.37	0.25	0.13	0.83	0.52	0.17
	G10%CaO	0.27	0.26	0.13	0.56	0.42	0.16

表 8 顆粒磷肥中的石灰加入量对小麥含磷量的影响(每盆植物所含)

土 壤	处 理	根 (毫克 P)			莖 葉 (毫克 P)			總 量 (毫克 P)		
		三 週	六 週	十二週	三 週	六 週	十二週	三 週	六 週	十二週
紅 壤	G	0.89	4.03	7.92	6.55	26.79	46.58	7.44	30.82	54.50
	G2%CaO	0.95	3.40	8.46	6.00	22.72	46.70	6.95	26.12	55.15
	G5%CaO	0.70	3.69	8.95	5.12	22.74	44.37	5.82	26.44	53.33
	G10%CaO	0.68	3.81	9.44	4.69	20.78	40.00	5.37	24.59	49.44
酸 性 砂 壤 土	G	0.88	4.94	6.53	11.66	48.30	70.77	12.54	53.24	77.30
	G2%CaO	0.90	3.08	8.28	11.96	36.79	69.51	12.86	39.87	78.79
	G5%CaO	0.78	3.35	6.02	9.63	31.10	54.57	10.41	34.45	60.59
	G10%CaO	0.49	3.30	6.90	5.21	21.08	43.92	5.70	24.38	50.82

(三) 顆粒磷肥施用深度的影响

很多的試驗結果證明^[10-16,16a],磷在土壤中很难移動,而對於紅壤,情况就更是如此^[17]。我們的試驗結果也證明¹⁾,在紅壤中,磷溶液加入土壤表面以後繼以水淋洗,磷仍停留在表面數毫米的範圍以內。为了使所施磷肥能够与根系很好地接觸,需要根据植物根系分佈的特點,選擇施用深度。表 9 至表 11 示这方面的試驗結果。小麥種子的播種深度為 2 厘米,顆粒磷肥的施用深度為 4—5, 2—6 及 6—10 厘米。在本試驗範圍內,對於兩種土壤,顆粒磷肥的施用深度对小麥生長沒有顯著影响。一般說,似乎施用深度為 6—10 厘米時,較前二者稍差。在小麥根部或莖葉部的含磷百分率方面,初期(三週及六週)時也有这种趨勢,但到十二週時,即已沒有差別。这种差別不十分顯著的原因,可能是由於在盆中小麥根的伸展很快,在三週時一般根長已達 25 厘米,六週時為 40—60 厘米,已有机会与顆粒磷肥相接觸。但是从表 11 中仍可明顯地看出,在施用深度為 6—10 厘米時,無論對於紅壤或酸性砂壤土,生長三週和六週的小麥中的含磷量,均較前二種施用深度時為低。值得注意的,是施用深度為 4—5 厘米時,較深度為 2—6 厘米者更為集中,這對於紅壤中磷肥的利用發生相当顯著的影响,在三个生長時期中,小麥的含磷量均以 4—5 厘米者為高。而在酸性砂壤土中,則沒有这种差別。很可能,这与紅壤中磷的固定及難於移動有關。因此,對於磷在其中固定劇烈及難於移動的土壤,如粘重的紅壤,在施肥時正確地選擇施用深度,應該是很重要的。

1) 未發表材料。

表9 顆粒磷肥的施用深度对小麥生長的影响

土壤	施用深度 (厘米)	根 重 (克)			莖 葉 重 (克)			總 重 (克)		
		三 週	六 週	十二週	三 週	六 週	十二週	三 週	六 週	十二週
紅 壤	4—5	0.19	1.22	4.66	0.78	4.54	20.25	0.97	5.76	24.91
	2—6	0.15	0.91	5.19	0.67	3.20	20.01	0.82	4.11	25.20
	6—10	0.16	1.16	3.79	0.61	3.49	16.05	0.77	4.65	19.84
酸 性 砂 壤 土	4—5	0.17	1.41	2.97	1.11	6.90	26.21	1.28	8.31	29.18
	2—6	0.15	1.46	5.32	1.08	8.21	29.90	1.23	9.67	35.22
	6—10	0.15	1.18	—*	1.00	5.78	—	1.15	6.96	—

* 試驗坏掉。

表10 顆粒磷肥的施用深度对小麥含磷百分率的影响

土 壤	施用深度(厘米)	根 (P%)			莖 葉 (P%)		
		三 週	六 週	十二週	三 週	六 週	十二週
紅 壤	4—5	0.47	0.33	0.17	0.84	0.59	0.23
	2—6	0.45	0.33	0.16	0.73	0.55	0.19
	6—10	0.39	0.31	0.19	0.69	0.45	0.27
性 砂 壤 土	4—5	0.52	0.35	0.22	1.05	0.70	0.27
	2—6	0.52	0.39	0.21	1.10	0.62	0.26
	6—10	0.49	0.31	—	0.95	0.69	—

表11 顆粒磷肥的施用深度对小麥中含磷量的影响(每盆植物所含)

土 壤	施用深度 (厘米)	根 (毫克P)			莖 葉 (毫克P)			總 量 (毫克P)		
		三 週	六 週	十二週	三 週	六 週	十二週	三 週	六 週	十二週
紅 壤	4—5	0.89	4.03	7.92	6.55	26.79	46.58	7.44	30.82	54.50
	2—6	0.68	3.00	8.30	4.89	17.60	38.02	5.57	20.60	46.32
	6—10	0.62	3.60	7.20	4.21	15.71	43.36	4.83	19.31	50.56
酸 性 砂 壤 土	4—5	0.88	4.94	6.53	11.66	48.30	70.77	12.54	53.24	77.30
	2—6	0.78	5.69	11.17	11.98	50.90	77.74	12.76	56.59	88.91
	6—10	0.74	3.66	—	9.50	39.88	—	10.24	43.54	—

(四) 顆粒磷肥的直徑及有机質比例的影响

國外學者對於顆粒磷肥的直徑大小的研究，結論很不一致。例如，Лызин的田間試驗結果^[18]，為2—3毫米最好；Starostka等人用小麥進行的盆栽試驗結果^[19]，為14—20孔篩（約合0.8—1.5毫米）者最好；Писемская^[20]在淡栗鈣土上的棉花試驗，當顆粒直

徑為 10—20 毫米時，其棉花增產量可高於 2.5—3 毫米者的一倍；Яковлев^[9] 的結果及 Тюпин 与 Бевс^[11] 的結果，也以顆粒較大(7 毫米)為優。但是 Michael 与 Schmalfluss 用燕麥盆栽試驗的結果^[12]，顆粒愈大，植物產量及所吸收的磷量亦愈低，不過差異並不很顯著。在這方面，Коричная 的試驗^[13] 具有重要意義，即對於不同的土壤所需要的顆粒直徑也有所不同。

在顆粒磷肥中的有機質與過磷酸鈣的比例方面，研究者的結果也很不一致。多數的結果^[9,18,24] 是，顆粒磷肥中加入有機質後，肥效較單純的顆粒磷肥為高；但是也有的結果^[11]，加入有機質後並不增加產量；甚至超過 1:1 的比例後，使其對棉花的肥效減低^[10]。

我們製成了四種不同直徑的顆粒磷肥，即 0.5—1, 1—2, 2—4 及 4—6 毫米，為了簡化起見，將試驗結果合併列於表 12。另外，做成不同的重過磷酸鈣及有機質比例之顆粒磷肥，其試驗結果合併列於表 13。

表 12 顆粒磷肥的直徑對於小麥生長及吸收磷量的影響

土壤	顆粒直徑(毫米)	根莖葉乾重(克)			吸收磷量(毫克 P)*		
		三週	六週	十二週	三週	六週	十二週
紅壤	0.5—1	1.15	6.62	27.78	7.27	30.42	49.39
	1—2	1.17	5.36	21.17	7.66	25.81	43.89
	2—4	0.97	5.76	24.91	6.25	29.63	53.31
	4—6	1.06	6.01	27.23	7.05	29.41	48.41
酸性砂壤土	0.5—1	1.31	7.57	29.52	11.35	47.31	82.09
	1—2	1.27	7.75	33.08	12.33	50.79	84.86
	2—4	1.28	8.31	29.18	11.35	52.05	78.11
	4—6	1.29	7.56	31.59	12.18	43.76	78.65

* 植物中含磷量減去種子含磷量(1.19 毫克)。

表 13 顆粒磷肥中重過磷酸鈣與有機質比例對於小麥生長及吸收磷量的影響

土壤	重過磷酸鈣與有機質比例	根莖葉乾重(克)			吸收磷量(毫克 P)		
		三週	六週	十二週	三週	六週	十二週
紅壤	G1:0	1.12	5.43	31.89	7.80	21.72	55.09
	G1:2	0.97	5.76	24.91	6.25	29.63	53.31
	G1:4	1.08	5.27	37.37	7.38	26.47	66.90
	G1:8	1.09	5.86	24.89	6.29	27.72	56.09
	G ^{1/3} :2:2/3*	1.04	5.43	29.46	6.87	24.61	62.40
酸性砂壤土	G1:0	1.31	8.73	37.90	11.92	56.65	90.71
	G1:2	1.28	8.31	29.18	11.35	52.05	78.11
	G1:4	1.31	7.75	38.87	11.76	50.91	86.95
	G1:8	1.15	7.84	36.62	9.24	45.71	89.91
	G ^{1/3} :2:2/3	1.35	7.71	31.62	12.60	46.19	81.13

* 1/3 重過磷酸鈣, 2/3 磷灰土。

从表中可以看出，顆粒直徑的大小對於植物生長及吸收磷量並無明顯影响，这在兩種土壤、三个生長時期中都是一样。这与 Коричная 的結果^[23]不同，她用燕麥的盆栽試驗中，所得結果為：對於紅壤，直徑為 1.5—3.0 毫米及 3.0—5.0 毫米的磷肥的利用率不同，以顆粒較大者為優；灰鈣土的情形則相反，而黑鈣土則無差別。

在重過磷酸鈣與有機質的比例方面，也沒有顯著差別。值得注意的，是用磷灰土粉來部分地代替重過磷酸鈣時，對植物也有同樣的效果。如果假定，磷灰土粉在短短的十二週中，是幾乎不能為小麥所吸收利用的，這就意味着，減低有效性磷量到其原有的三分之一，並未減少植物的吸收量。這或者是因為，其有效性磷的數量已足以供生長十二週的小麥所吸收。

三. 討 論

(一) 小麥不同生長時期中對磷的吸收

研究小麥的不同生長時期中對土壤中養分的吸收速度，具有理論和實際意義。在這方面，植物生理學者的砂培及水培試驗很多。但是植物在土壤中的吸收情形要複雜得多，其中土壤性質及施肥方法，都應具有一定程度的影响。我們所用的紅壤幾乎不含有效性磷，因此植物中的磷，除去種子以外，應該是全部來自肥料。

從表 14 及圖 1 可以看出，小麥在前三週中從土壤中所吸收的磷量是很少的，這與 Spinks 與 Barker 的結果^[25]及 Remy 的結果^[26]大致相符。在以後的生長時期中，小麥對磷的吸收速度，隨土壤和施肥方法的不同而有很大差別。對於紅壤來說，從粒狀肥料中所吸收者，總較從粉狀肥料中所吸收者為快。在砂壤土中，在生長六週時，從兩種狀態肥料中所吸收的速度大致相等；到以後，從粉狀重過磷酸鈣中所吸收的速度，超過從粒狀中吸收速度的二倍。值得注意的，是根據 Spinks 與 Barker 的材料，小麥在最初的二週中，幾不從土壤中吸收磷；在我們的試驗中，這種情況僅在紅壤中的粉狀混施時是如此，而對其他處理，即在最初的四週中，仍有一定量的吸收。顯然，粒狀肥料的與種子相接觸及砂壤土中磷的易於移動，都應該起一定的作用。

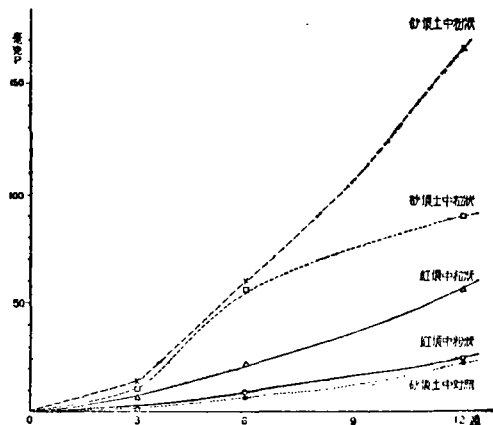


圖 1. 小麥不同生長時期中磷的吸收量

表 14 小麥不同生長時期中吸收磷的速度

土 壤	处 理	每盆中小麥每週所吸收磷量 (毫克 P)			每 1 克小麥根每週所吸收磷量 (毫克 P)		
		0—3週	3—6週	6—12週	0—3週	3—6週	6—12週
紅 壤	未施磷	-0.02	-0.12	-0.02	—	—	—
	粉狀重過磷酸鈣	0.33	2.82	2.40	1.50	2.37	0.97
	粒狀重過磷酸鈣	2.60	4.64	5.56	12.38	3.80	1.00
酸 性 砂 壤 土	未施磷	0.38	2.03	2.61	1.65	1.69	0.86
	粉狀重過磷酸鈣	4.91	15.23	17.72	37.77	13.72	4.34
	粒狀重過磷酸鈣	3.97	13.91	5.68	20.89	8.75	1.00

小麥在 0—3 週時吸收的磷量不多,是由於根系還缺少吸收磷的能力,還是由於根量,即其吸收面積較小? 或者是以那一個作用為主? 表 14 的材料也給了大致肯定的回答。可以說,當土壤中的有效性磷量較少,即紅壤中施用粉狀重過磷酸鈣和酸性砂壤土中不施磷時,小麥在 0—6 週的生長時期內,每單位根重每週所吸收的磷量大致相等;在 6—12 週的生長期內吸收力稍小,但差別並不是很大的。但是當速效性磷的存量很多,如在酸性砂壤土的粉狀施用時(約合每公斤土壤中含 300 毫克有效性 P_2O_5),則即在 6—12 週的時間內,每單位根重的每週吸收量也是很大的。而對於 0—3 週的小麥,在這種情況下,如果以單位根重的每週吸收量計算,則其吸收效能不但不較以後生長時期為低,反而大大地超過以後生長時期。可見,小麥在生長初期時的吸收磷量少,並不與其根的吸收效能有關,而是由於根面過少所致。也可見小麥對磷的吸收,具有極大程度的被動性,受土壤中有效性磷存量的很大影響,而這種影響在植物生長初期表現得尤其強烈。當土壤中有效磷的存量不同時,其植物體中含磷量間的相對差別,要較植物重量間的相對差別為大。

植物對磷的吸收速度與其生長速度是否一致? 這是一個很有興趣的問題。Doan 與 Fried^[97] 所引用的材料說明,植物在吸收磷量方面的最高點,較植物生長的最高點來得更早。但是應該設想,土壤中養分的供給情況,應該具有一定的影響,例如 Williams 即觀察到^[98],當磷的濃度增大時,吸收最高點所需要的時間也較短。

圖 2 至圖 5 示小麥對磷的吸收速度與其生長速度的關係。在圖中假定十二週時的吸收磷量及植物重量均為 100%。可以看出,在兩種土壤中,不管施肥方法如何,初期時磷的相對吸收速度均較植物的生長速度為快。而在施用粒狀肥料時,這種差別更為顯著。這從表 4 中也可看出同樣情形,即植物初期的含磷百分率較高,隨着植物的生長,其含磷百分率也逐漸降低。一般所認為的粒狀磷肥的集中施用可以保證植物生長

初期以良好的磷的供应,在这里也得到一个証明。

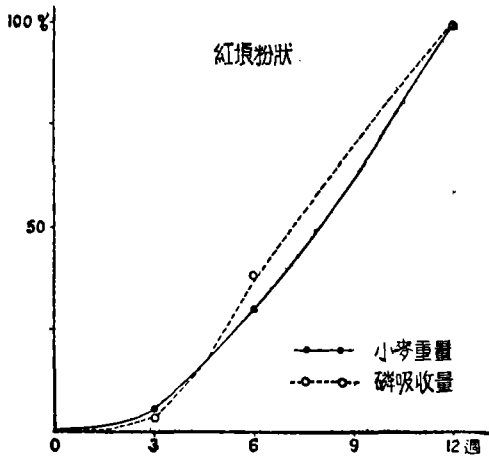


圖 2

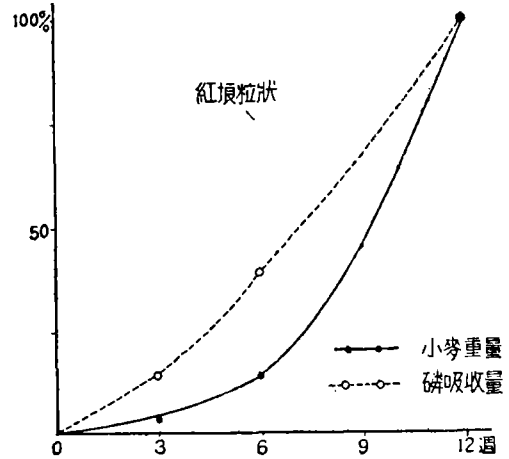


圖 3

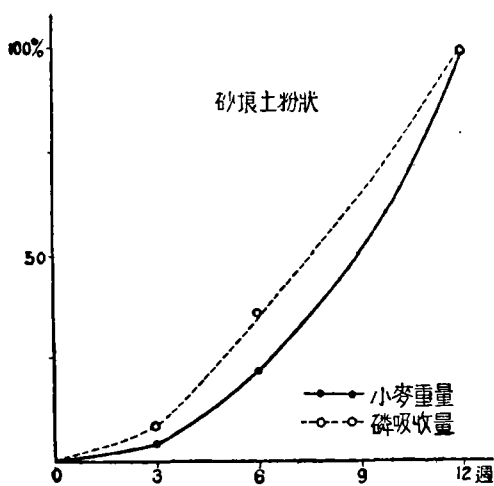


圖 4

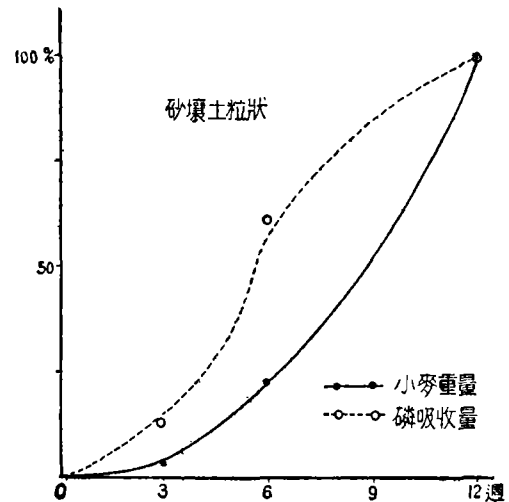
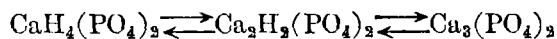


圖 5

圖 2—5 磷的吸收速度与小麦生長速度的關係(以十二週時者为 100%)

(二) 磷酸鈣的存在形態与其利用率的关系

普通磷酸鈣中,磷主要是以 $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$ 的状态存在;在重过磷酸鈣中,还有少量的游离 H_3PO_4 。加入 CaO 以後,随着所加入 CaO 量的增高,也会有一定量的磷轉化为 $\text{Ca}_2\text{H}_2(\text{PO}_4)_2$ 的状态。从表15及圖 6 中可以看出,所加石灰愈多,其 pH 值愈高,因此其利用率也愈低。这点符合於一般的理論,即 pH 愈高,其



的轉化作用,愈向右進行。因此,从磷的肥效的角度看来,顆粒磷肥中加入石灰是並不適宜的。值得注意的,是这种利用率上的差别,因土壤和時間而不同。對於紅壤,主要

表現在前三週，而且差別較小；以後即差別很少。對於酸性砂壤土，這種差別要較紅壤為大，而且維持到十二週。造成這種土壤間的差別的原因，可能與其 pH 值有關。紅壤

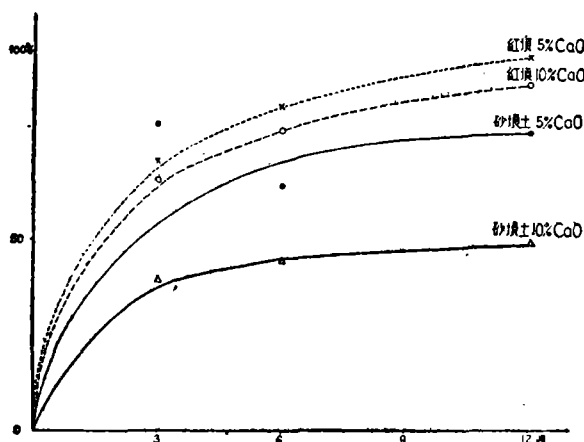


圖 6. 顆粒磷肥中的石灰含量與其利用率的關係
(以各個時期中不加石灰者為 100%)

的 pH 較低，因此到以後能維持顆粒中的 pH 於較低值，而酸性砂壤土的 pH 為 6.1，不能降低顆粒中的 pH。因土壤與顆粒磷肥間的酸度平衡作用進行頗快^[7]，所以在考慮這個問題的時候，是應該注意到土壤本身的酸度的。另外，兩種土壤的緩衝力不同，也可能具有一定作用。至於國外某些學者在顆粒中加入少量石灰並未減低肥效，是因為試驗時間較

長，其酸度已與土壤達到平衡，因此少量石灰的影響已不再顯現。

表 15 重過磷酸鈣的 pH 值與其利用率的關係
(以所施之磷為 100%)

磷肥狀態	顆粒的 pH	紅 壤			酸 性 砂 壤 土		
		三 週	六 週	十二週	三 週	六 週	十二週
G	2.22	2.7	12.7	22.8	4.9	22.3	32.6
G2%CaO	3.12	2.5	10.7	23.0	5.0	16.6	33.2
G5%CaO	4.00	2.0	10.8	22.3	4.0	14.2	25.0
G10%CaO	4.75	1.8	10.0	20.7	2.0	10.0	21.2

(三) 土壤對磷的固定作用

一般都認為，土壤尤其是粘重的酸性土壤，對於所施入的磷肥有一種固定作用，由於固定作用的關係，使其肥效減低。但是從我們的試驗結果看，這種固定作用在減低磷肥的有效性方面究竟起多麼大的作用，則值得一定程度的懷疑。

可以設想，既然將磷肥做成顆粒，也會有很大一部分在很短的時間內向其周圍的土壤擴散^[29]；但由於在土壤中的移動速度很小，所以大都停留在靠近顆粒的附近。因此，做成顆粒並不能完全避免磷與土壤的接觸。如果說肥料磷與土壤的接觸機會的大小是決定固定量，因而是決定其利用率的條件，那麼顆粒愈大，其利用率應該也愈高，有機質與過磷酸鈣的比例愈大，利用率愈高。但是表 12, 13 的材料顯示，顆粒大小及有機質比

例对小麥的吸收磷量,並無明顯的影响;而且有机質的加入与否,对其利用率也沒有明顯的影响。这可从表 16 中看出:

表 16 有机質对顆粒磷肥中磷的利用率的影响
(以所施磷量为 100)

过磷酸钙与有机質比例	紅 壤			酸性砂壤土		
	三 週	六 週	十二週	三 週	六 週	十二週
G1:2	2.7	12.7	22.8	4.9	22.3	32.6
G1:0	2.9	9.3	23.6	5.1	24.2	38.7

如果土壤对磷的固定作用影响其利用率,那麼紅壤的固定作用極大,應該在兩種肥料处理間有很大的差別;但是实际上並沒有。我們用黃土性土壤所進行的試驗¹⁾ 証明,当过磷酸钙以粉狀集中表層施用或以粒狀集中表層施用時,對於所試驗的七种作物,無論在植物產量和植物中含磷量方面,都沒有什麼差別。为了研究顆粒化在紅壤中是否有效,我們用小麥進行的对比試驗証明,当同样集中施用於表層時,對於生長一个月的小麥,粉狀或粒狀之間,並無任何差別,只有到以後,才逐漸看出生長上的不同。

那麼,如何解釋与前人結果相矛盾的現象呢? 應該注意到,一般所進行的粉狀与粒狀磷肥的比較試驗,多半是將粒狀者集中施用於种子附近,而將粉狀磷肥与全部土壤相混和。这样,除了与土壤接觸的机会不同以外,还有与植物根接觸机会的問題,因此二者是不能嚴格比較的。如果比較這兩种施肥方法,那麼当然是以前者为优。本試驗的結果也証明了這一點。但是当二者都集中於根部施用時,情況便与一般的試驗有很大的不同。

磷肥施入土壤中以後,其利用率決定於兩個条件:与土壤相接觸的机会愈多,形成难溶性化合物的机会也愈多,則其利用率也將愈低;另一方面,与根的接觸机会愈多,則利用率也將愈高。当以顆粒状态施用時,其与土壤的接觸机会自然減少,但是与植物根相接觸的机会,在一定程度上也有所減少。顆粒愈大時,則与根相接觸的机会也愈少;这可能是某些試驗結果中,顆粒愈大時其肥效反而愈低的原因。這兩种互相矛盾的作用的總和,决定了磷的利用率,至於在什麼情況下以那一个作用佔优势,則視土壤性質及植物根系的發育特點而定。因此,在施用顆粒狀磷肥時,不能盲目地增加顆粒直徑和有机質,甚至在某些土壤(如黃土性土壤)中,反以粉狀施用为宜。

在这方面,對於磷在土壤中移動遲緩这个特點,應該予以更多的考慮。可以設想,

1) 尙未發表。

当植物根吸收了有效性磷以後,在其附近造成一个濃度差,距离較远的磷必須移動到根周圍以後,才能重新为植物所吸收。但是磷在土壤,尤其是粘重土壤中的移動速度,又是極低的。如表 16 中所顯示的那樣,当在紅壤和酸性砂壤土中同样以顆粒状态施入時,後者的利用率總較前者高得多;造成这种現象的原因,除了固定作用本身的不同以外(一般都認為做成顆粒後可以大大降低磷的固定),很可能,磷在兩种土壤中的移動速度不同,起有相当重大的作用。

摘 要

用盆栽方法,以小麥为指示植物,研究在兩种酸性土壤中,磷肥对植物生長及磷的吸收量的影响。

磷肥对發育於第四紀紅色粘土的紅壤,有强烈的效果;对發育於赤山砂岩的酸性砂壤土,也有明顯的效果。磷肥增加植物產量,並增高植物根部与莖葉部的含磷百分率;做成顆粒集中施用時更为明顯。

顆粒磷肥中加入石灰,可降低其被植物的吸收量。石灰量愈多,影响愈大。

將顆粒磷肥施用於6—10厘米的深度時,較施用於4—5及2—6厘米者的效果稍差。

在直徑 0.5—6 毫米的範圍內,重过磷酸鈣与有机質比例为 1:0 至 1:8 的範圍內,顆粒大小及有机質的比例对其有效性沒有顯著的影响。

小麥在三週以前所吸收的磷很少,3—12 週的吸收速度大致相等。吸收速度受土壤性質与施肥方法的影响,顆粒状集中施用,使 3—6 週的吸收速度最高。在植物生長初期吸收磷量很少,是由於根量过少所致,並不与其單位根重吸收磷的效能的强弱有關。

在植物各个生長期中,磷的相对吸收速度較小麥的相对生長速度为快。

参 考 文 献

- [1] Соколов, А. В., 1947. Распределение питательных веществ в почве и урожай растений. Издательство АН СССР, стр. 11.
- [2] Ulrich Schoen, 1953. Die Bindung von Anionen, besonders von Phosphat-Ionen an Toner.— eine übersicht. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, 60 (105), 31—54.
- [3] 于天仁, 1950. 磚紅壤的磷酸固定作用及其与游离鉄的關係。中國土壤学会會誌, 第 1 卷第 3、4 合期; 第 187—192 頁。
- [4] 彼得布爾斯基, А. В., 1954. 農業化学分析。中國科学院出版, 第 223—225 頁。
- [5] Piper, C. S., 1950. Soil and plant analysis. Interscience Publishers, pp. 272—274.
- [6] Gericke, S. u Kurmies, O., 1953. Колориметрическое определение фосфорной кислоты валадатомолядатом (ВМ реактив). Химия и Химич. Технол., 8, 18—19.

- [7] Остроумова, О. А., 1954. Изменение кислотности гранулированного суперфосфата на черноземной почве. *Земледелия*, №1, 60—70.
- [8] Возбуждая, А. Е., 1952. Вопросы применения гранулированных удобрений на Северо-Востоке. *Сов. Агрон.*, №1, 69—80.
- [9] Яковлев, П. В., 1952. Эффективность гранулированных удобрений в условиях Крайнего Севера. *Сов. Агрон.*, № 7, 62—66.
- [10] Nesler, J. M. and Black, C. A., 1954. Diffusion of fertilizer phosphorus in soils. *Soil Sci.*, 78, 289—402.
- [11] Alan, Wild., 1950. The retention of phosphate by soil, a review. *Jour. Soil Sci.*, 1, 221—238.
- [12] Beatér, B. E., 1938. The movement and fixation of superphosphate in soils. *Soil Sci.*, 46, 453—466.
- [13] Henderson, W. J. and Jones, U. S., 1941. The use of radioactive elements for soil and fertilizer studies. *Soil Sci.*, 51, 283—288.
- [14] Metzger, W. H., 1934. Distribution of fertilizer residues in the soil after four years of a fertilizer experiment with alfalfa. *Jour. Amer. Soc. Agron.*, 26, 620—625.
- [15] Brown, L. A., 1935. A study of phosphorus penetration and availability in soils. *Soil Sci.*, 39, 277—287.
- [16] Hockensmith, R. D. et al., 1933. The effect of depth of placement on the availability of superphosphate in calcareous soils. *Soil Sci.*, 36, 35—38.
- [16a] 普里亞尼施尼柯夫, Д. П., 1955. 農業化学上冊. 高等教育出版社出版, 第 243 頁.
- [17] Рачицкий, В. В., 1954. Применение радиохроматографического метода к изучению динамики сорбции, движения и распределения фосфат-ионов в почвах. *Доклады АН СССР*, 95, 849—851.
- [18] Лызин, А. А., 1952. О влиянии соотношения в гранулах органических удобрений к суперфосфату и размера гранул на урожай яровой пшеницы. *Сов. Агрон.*, № 3, 22—24.
- [19] Raymond W. Starostka, Joseph H. Caro and William L. Hill, 1954. Availability of phosphorus in granulated fertilizers. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 18, 67—71.
- [20] Писемская, В. А., 1952. Гранулированное удобрение и питание хлопчатника. *Агробиология*, № 1, 89—100.
- [21] Тюрип, В. А. и Беус, Т. В., 1952. Действие органо-минеральных гранулированных удобрений на урожай зерновых культур и многолетних трав. *Сов. Агрон.*, № 8, 56—62.
- [22] Michael, G. und Schmalfuss, K., 1953. Gefässversuche mit Granuliertem Superphosphat. *Z. Pflanzenernähr. Düng u. Bodenkunde.*, 62 (107), 41—50.
- [23] Соколов, А. В., 1950. Агрохимия Фосфора. Издательство АН СССР, стр. 81.
- [24] Свечников, И. В., 1953. Влияния органо-минеральных гранулированных удобрений на урожай турпенса. *Земледелия*. № 7, 59—65.
- [25] Spinks, J. W. T. and Barker, S. A., 1948. Studies of fertilizer uptake using radioactive phosphorus. II. *Sci. Agric.*, 28, 79—87.
- [26] Remy, T., 1938. Fertilization in its relationships to the course of nutrient absorption by plants. *Soil Sci.*, 46, 187—209.
- [27] Dean, L. A. and Maurice Fried, 1953. Soil-plant relationships in the phosphorus nutrition of plants. Soil and fertilizer phosphorus in crop nutrition. Academic Press Inc., pp. 43—58.
- [28] Williams, R. F., 1948. The effects of phosphorus supply on the rates of intake of phosphorus and nitrogen and upon certain aspects of phosphorus metabolism in gramineous plants.

Australian Jour. Sci. Res., B1, 333—336.

[29] Kirk, Lawton and Vomocil, J. A., 1954. The dissolution and migration of phosphorus from granular superphosphate in some Michigan soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 18, 26—32.

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ВНЕСЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В КИСЛЫХ ПОЧВАХ

Юй Тянь-жэнь и др.

(Вызоды)

Для выяснения влияния способов внесения гранулированных фосфорных удобрений на их использование в кислых почвах, проведены вегетационные опыты с двумя кислыми почвами. Индикаторным растением опытов служит пшеница. Глинистый краснозем с рН 4.8 содержит очень мало фосфора, а другая супесь с рН 6.1 содержит значительно много фосфора—17 мг. Р на 100 грамма сухой почвы в вытяжке 0.5 Н. уксусной кислоты по Чирикову. При подсчете результатов учитываются сухой вес корня и надземной массы, процентное содержание фосфора в них, а также сумма поглощенного фосфора.

Применение фосфорных удобрений на двух кислых почвах, а особенно на красноземе, оказывает сильно выраженный эффект на роста пшеницы и поглощение ими фосфора. Этот эффект выражается особенно отчетливо при совместном применении удобрений с семенами в тех же самых слоях.

Прибавление извести в количестве 2%, 5% и 10% от веса гранула может повысить кислотность гранула от рН 2.22 до рН 3.12, 4.00 и 4.75, причем соответственно и понижает их использования растениями. Кроме того, чем меньше возраст растений, тем сильнее это влияние. Например, при 10% извести количество относительного поглощения гранулов составляет 66% неизвесткованных гранулов для пшеницы возрастом 3 недели на красноземе, тогда как для 12 недели оно равно 91% неизвесткованных гранулов.

В пределах диаметром 0.5 мм до 6.0 мм, и соотношениям 1:0 до 1:8, размер гранула и соотношение между суперфосфатом и органическим веществом не оказывает заметного влияния на использование фосфора растениями.

Пшеницы поглощают фосфаты незначительно после засеивания до 3 недель; в 3—12 неделях скорость их поглощения примерно одинакова. Скорость поглощения в значительной степени определяется характером почв и способами внесения удобрений. Послойное внесение ведёт к поглощению с максимальной скоростью в течение 3—6 недель.

Низкая способность поглощения в первом периоде роста растения связана с их слабо-развивающей системой корня, а не определяется изменениям поглотительной эффективности, так как при наличии мало доступных фосфатов в почве количество поглощения их единицей веса корней на неделе примерно одинаково в целом периоде опытов (0-12 недели), а при большом количестве фосфатов поглотительная эффективность достигается до максимальной в первом периоде роста. Это и значит, что местное внесение фосфорного удобрения создает условия для быстрого поглощения фосфатов молодыми растениями.

Скорость поглощения фосфатов оказывает больше чем скорость роста пшеницы.

Из результатов видно, что при оценка использования фосфатов растениями надо обратить внимание на характерную особенность медленного движения фосфатов в почве, причем фиксация почвой, вероятно, играет меньшую роль чем обычно думается.