

根系提水作用的土壤水分变异及养分有效性^{*}

III. 土壤剖面中隔水层对作物吸收养分和土壤养分有效性的效应

樊小林¹ 李 玲² 张林刚³

(1 华南农业大学资源环境学院, 广州, 510642; 2 华南农业大学科研处; 3 中国科学院水土保持研究所)

摘要 研究表明, 毛管水连续时的产量比断裂的平均增加 23.19%; 氮、磷、钾吸收量分别增加 74.4%, 36.44% 和 22.38%。施氮方式对氮、钾吸收量的影响显著, 对磷较小。上均肥较上中肥的吸收氮量多 47.3%、钾多 38.7%, 而吸磷量仅多 14.0%。随施氮量增加, 能明显增加氮、磷、钾的作物吸收量。高氮较低氮处理氮、磷、钾的吸收量分别多 80.1%, 98.1% 和 76.5%。有、无隔水层明显影响土壤速效氮、磷、钾含量, 前者比后者, 中室铵态氮、硝态氮之和 (N_{min}) 增加 14.7%, 有效磷增加 14%; 侧室有效钾增多 24.4%。表明毛管水连续与否能明显影响土壤养分有效性, 影响作物的吸收利用。

关键词 隔水层; 毛管水; 水肥; 养分吸收量; 氮磷钾

中图分类号 S158.3

在我国北方干旱半干旱地区农业生产中, 利用黄土水库之储水作用, 积蓄秋季降水, 供越冬作物(深根)利用, 是当地土壤水分利用率和农业生产力高的主要原因之一(李玉山, 1980)。但是土壤剖面耕层以下夹杂粗质地层, 如粗砂的现象屡见不鲜, 常见于古河道台塬地(旱地)和河滩(滩涂)。前者即使储存了较多的降雨(形成土壤水库)、后者即使下层有较多的水分, 均会因粗质地层(相当于隔水层)存在而影响土壤毛管水上升, 并对土壤水肥状况、作物吸收利用水、肥有一定影响。虽然作物根系提水作用能提高土壤水(深层储水)肥(上层土壤养分)的增产效益(樊小林等, 1995a; 1995b; 1996), 也能增加土壤保水量而提高水肥利用效率(山仑等, 1993; 樊小林等, 1997; Pardlesd et al, 1990; Caldwell et al, 1989; Wetterlein et al, 1993)。然而根系提水作用与隔水层共存时, 对土壤水肥状况、作物吸收利用究竟有什么影响呢? 本文研究结果将对夹杂粗质地层的土壤改良、利用具有一定意义。

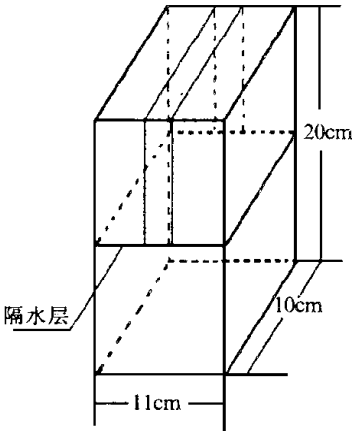


图1 根箱示意图

1 材料与方法

1.1 供试材料和试验装置

供试土壤采自陕西省西北农业大学农一站试验田, 系壤土类红油土亚类。土壤速效氮 $w(N)=35.30\text{ mg/kg}$, 有效磷 $w(P_2O_5)=20.48\text{ mg/kg}$, 交换性钾 $w(K_2O)=205.60\text{ mg/kg}$ 。供试

1997-11-03 收稿 樊小林, 男, 39 岁, 副教授, 博士

^{*} 国家自然科学基金(39470425)资助项目

作物为辐谷 4 号。

试验用分层分室根箱, 根箱由上下两室(层), 上室又分为左、中、右 3 室, 左、右与中室宽间用孔径为 0. 044 mm 尼龙网隔开, 从下室底供水(图 1)。

1.2 试验设计和试验管理

在有、无隔水层下分设无肥、高氮(纯氮)、低氮(纯氮)[w (高氮)=0. 30 g/kg, w (低氮)=0. 15 g/kg] 以及仅上层中室施肥、上层均匀施肥 2 种处理。同时还分别设有隔水层、无隔水层、上下均无肥 2 组对照。试验均以磷 w (P_2O_5)=0. 10 g/kg, 钾 w (K_2O)=0. 15 g/kg 作底肥。每处理重复 3 次。其中有隔水层的即上室无毛管水供应, 无隔水层的上室有毛管水供应。隔水层材料为粒径 2~3 mm 的珍珠岩, 隔水层厚 2 cm。供试肥料为尿素, 磷酸二氢钠, 氯化钾。

在简易人工气候室中在光照 12 h, 温度 28~32 ℃; 黑夜 12 h, 温度 15~18 ℃, 相对湿度均为 60%~70%, 严格控制光照时间条件下培养, 从根箱下部供水。谷子分别播种在两个侧室, 每一侧室留苗 20 株。各箱土表覆盖 2 cm 厚珍珠岩, 以防水分蒸发。谷子灌浆至成熟期收获地上部分, 测量地上部生物量(干质量), 分析植株氮、磷、钾含量, 计算每根箱养分吸收量。同时分取各室土样, 用 KCl 代换法测定土壤矿质态氮(N_{min} , NH_4^+-N 和 NO_3^--N), 用 Olsen 和 1 mol/L NH_4OAc 浸提法分别测定土壤速效磷和交换性钾。

2 结果与分析

2.1 土壤隔水层、施氮方式、施氮量的产量效应

表 1 结果表明, 在毛管水连续时(无隔水层), 各处理谷子地上部产量明显大于不连续各处理(有隔水层)。且均表现为高氮处理的产量大于低氮。同一氮素水平下, 上均肥处理的大于上中肥。无隔水层处理同一氮量、同一施肥方式下地上部产量大于有隔水层的, 平均增产 23. 19%±4. 12%, 这是因为无隔水层时上下层土壤有毛管水连系, 上室的水分状况较好, 有利于水肥协调, 以水促肥。施肥多时作用更加明显, 谷子的产量也就高, 高氮、低氮的增产量分别是 24. 04%±6. 73% 和 21. 98%±2. 73%。上均肥、上中肥处理无隔水层比有隔水层时的增产量分别是 24. 81%±6. 15% 和 21. 57%±2. 73%。其原因是上均肥处理谷子生长介质的氮素养分较上中肥的多, 在无隔水层时又能充分发挥水肥交互的增产作用。可见隔断毛管水以后, 即使上层有足够的氮素供应, 由于缺水也会抑制养分的增产效应。上下层土壤毛管水连续时, 上层土壤的氮肥能充分发挥其增产作用。

表 1 谷子地上部生物学产量¹⁾ g/箱

重 复	有隔水层				无隔水层			
	上均肥		上中肥		上均肥		上中肥	
	高氮	低氮	高氮	低氮	高氮	低氮	高氮	低氮
1	4. 75	2. 95	4. 58	2. 12	6. 59	3. 57	5. 14	2. 67
2	4. 56	2. 68	4. 53	2. 30	5. 45	3. 24	5. 01	2. 85
3	4. 59	2. 15	4. 38	2. 08	5. 91	2. 54	5. 76	2. 51
Σ	13. 90	7. 78	13. 49	6. 50	17. 95	9. 35	15. 91	8. 03
平均	4. 63±0. 10	2. 59±0. 41	4. 43±0. 09	2. 17±0. 17	5. 98±0. 57	3. 12±0. 53	5. 30±0. 40	2. 68±0. 17

1) 干质量
© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

2.2 土壤毛管水、施氮方式、施氮量对谷子养分吸收的影响

2.2.1 有无隔层对谷子养分吸收量的影响 有无毛管水供应上室对谷子吸氮量有极显著影响,无隔层较有隔层的吸氮量多 74.4%(表 2). 同一条件下,隔水层阻断了土壤毛细管,使下室水分不能到达上室,故不利于养分有效化,而无隔水层时则相反,上室的水热条件较好,作物生长健壮,产量高,养分吸收量大. 有无隔层对磷、钾吸收也有显著影响. 无隔层的吸磷量分别较有的平均多 36.44 %和 22.38%. 虽然磷、钾以底肥施入土壤,且相对较少. 由于作物吸收养分需要保持生理平衡,当供氮较多时,作物需磷、钾就多,吸取磷、钾的能力就增强,因此有无隔水层对作物吸收磷、钾数量产生了明显的影响.

2.2.2 施氮方式对谷子吸收氮、磷、钾量的影响 在其他条件相同下,上均肥处理的吸氮、钾量分别比上中肥的平均多 47.3 %和 38.7 %,然而吸磷量仅多 14.0 %(表 2). 表明由于施氮方式不同,谷子吸氮磷钾量不同. 上均肥谷子吸磷、钾量,由于土壤中速效氮量较上中肥的多,而磷、钾较少,并可能成为限制生长的因素,又因为钾的移动性较强,所以高氮时施肥方式明显影响吸钾量,即上均肥吸钾量大于上中肥. 但低氮时的差异小于高氮处理. 由于磷的移动性小,则无论高氮、低氮处理,施肥方式对吸磷量的影响较小.

表 2 谷子氮、磷、钾吸收量的平均值 mg/ 箱

项 目	有隔水层				无隔水层			
	上均肥		上中肥		上均肥		上中肥	
	高氮	低氮	高氮	低氮	高氮	低氮	高氮	低氮
氮	15.58±0.08	8.61±0.01	15.04±0.23	6.81±0.29	31.35±0.03	19.71±0.26	19.25±0.19	9.99±0.14
磷	10.11±0.05	5.36±0.35	9.42±0.14	6.01±0.19	16.37±0.11	7.08±0.14	12.66±0.10	6.06±0.23
钾	132.33±0.10	84.00±0.16	114.66±0.29	70.32±0.19	198.99±0.12	103.20±0.18	123.70±0.21	65.23±0.32

2.2.3 施氮水平对谷子吸收氮、磷、钾量的影响 表 2 还表明在其它条件相同下,高氮处理的谷子吸氮量较低氮的平均多出 80.1 %,吸磷量平均多 98.1 %,吸钾量平均多 76.5 %. 对氮而言,在一定范围内土壤供氮越多,作物吸氮越多,这已是生产实践证明的事实. 由于作物吸收养分需要保持平衡,当作物吸收某一养分增加时,就会促使作物吸收其他养分. 所以,增施氮量能增加磷、钾吸收量.

综上所述,(1)有无隔水层通过毛管水连续与否影响土壤养分的迁移和转化,而影响作物的吸收利用.(2)随施氮量增加,不仅谷子吸氮量增大,而且能促进作物吸收磷和钾.

2.3 土壤毛管水、施氮方式、施氮量对收获期土壤 N_{min} 含量的影响

土壤 N_{min} 及其统计结果说明(表 3、4),有无隔层显著影响中室 N_{min},中室 N_{min} 较无隔层的多 14.7 %,对侧室的影响不大. 由于有隔层的土壤上下无毛管水连系,所以土壤 N_{min} 的差异来自作物吸收的效应. 而无隔层时上下间、侧室中室间有毛管水连系,所以各处理土壤 N_{min} 的差异来自作物吸收和土壤养分的迁移. 从土壤中原有 N_{min} 和所施加氮肥的减少来看,有隔层中室土壤的减少量很大(约 150 mg/kg),说明无毛管水供应情况下,根系提水作用能促使土壤养分有效化和作物吸收利用(樊小林等,1995a;1995b;1996;1997). 施肥方式与施氮量对侧室和中室土壤 N_{min} 无显著影响(表 4),因为施肥方式与施氮量显著影响谷子吸氮量,在施氮量多或施肥方式有利于谷子吸收时(仅施于侧室),谷子吸氮量就多,使土壤 N_{min} 降低,导致试验结束时土壤中的 N_{min} 无明显差异.

表 3

谷子收获期各处理土壤速效氮、磷、钾质量分数平均值

mg/ kg

项目	有隔水层				无隔水层			
	上均肥		上中肥		上均肥		上中肥	
	w (高氮)	w (低氮)	w (高氮)	w (低氮)	w (高氮)	w (低氮)	w (高氮)	w (低氮)
氮 侧室	27.89±0.18	29.96±0.12	25.90±0.23	23.74±0.09	27.3±0.11	24.6±0.12	17.3±0.12	21.9±0.09
中室	30.60±0.09	36.77±0.06	32.59±0.08	30.39±0.04	29.1±0.05	27.0±0.13	29.0±0.06	29.2±0.02
磷 侧室	10.42±0.08	13.00±0.06	3.51±0.24	3.40±0.23	8.6±0.09	12.0±0.07	3.6±0.16	3.6±0.15
中室	11.19±0.06	12.44±0.02	9.28±0.20	12.07±0.22	12.6±0.19	13.7±0.04	11.0±0.11	13.7±0.10
钾 侧室	202.95±0.18	187.06±0.04	178.62±0.10	157.94±0.00	147.3±0.03	155.2±0.02	142.1±0.08	139.4±0.07
中室	165.88±0.07	176.47±0.06	152.65±0.06	163.23±0.02	173.8±0.00	168.5±0.02	163.1±0.04	168.5±0.02

表 4

谷子收获期各处理土壤速效氮、磷、钾质量分数的统计结果

项目	处理	侧室			中室		
		自由度	均方差	F 值	自由度	均方差	F 值
氮	有无隔层	1	74.06	2.48	1	135.90	24.30 **
	施肥方式	1	103.75	3.47	1	0.55	0.10
	氮水平	1	13.77	0.46	1	0.46	0.08
	误差	14			14		
磷	有无隔层	1	2.13	2.55	1	14.83	5.34 *
	施肥方式	1	341.94	409.15 **	1	5.39	1.94
	氮水平	1	12.34	14.77 **	1	21.72	7.81 *
	误差	14			14		
钾	有无隔层	1	7949.13	21.24 **	1	83.10	0.94
	施肥方式	1	3219.60	8.60 *	1	487.77	5.54 *
	氮水平	1	65.69	0.18	1	152.73	1.74
	误差	14			14		

2.4 土壤毛管水、施肥方式和氮水平对收获期土壤有效磷含量的影响

有无隔层对侧室土壤有效磷影响不显著,而明显影响中室的含磷量,无隔层是有隔层的1.14倍(表3,4)。这是由于磷为底肥施用,相对于氮肥较少。表3和表4还说明氮水平显著影响含磷量。侧室高氮处理有效磷较低氮的少22.4%,中室的少17.6%。可见氮能促进吸收磷,所以谷子吸收侧室中大部分磷素,使收获期侧室有效磷差别不大。无隔层中室土壤剩余有效磷较多,可能是因为水分促进了土壤磷释放,表现在增加了谷子生长期对有效磷的吸收量(表2)。然而有隔水层由于土壤干旱等可造成磷的固定,也表现在吸磷量较少(表2)。这一问题还有待于进一步研究。

施氮方式显著影响侧室土壤含磷量(表3,4),而对中室的不明显。上均肥较上中肥处理平均多214.2%。这可能是由于氮多少影响土壤微生物的活性及其理化性状。氮多时土壤微生物量大、活性强,有利于土壤固有磷的活化。然而,不管是上中肥还是上均肥处理,中室的施氮水平一致。故中室有效磷差异不显著,这一点也有待于进一步研究。

2.5 土壤毛管水、施肥方式、氮水平对收获期土壤代换性钾的影响

有隔层较无隔层的土壤中钾的质量分数多24.4%,而中室变化不显著(表3,4)。无隔层时有毛管水活化土壤钾,并形成良好的水热环境,促进作物吸收钾,使收获期无隔层侧室土壤

代换性钾较少。施氮方式对土壤代换性钾也有明显的影响(表 3、4)。侧室上均肥处理代换性钾较上中肥多 12.1%，中室上均肥的较上中肥的多 5.8%。高氮处理谷子的吸钾量较低氮的多 76.5%(表 2)。但施氮量的影响无统计上的(表 4)差异，可能是因为氮水平不同，作物生长状况不同，其根系活力不同，对根际微生物的影响就不一，又因施肥方式不同，从而对土壤中固态、缓效态钾的活化力不同，导致代换性钾的土壤残留量情况更加复杂。

3 小结

(1)毛管水存在能协调土壤水肥关系，使作物生长健壮，生物量产量大，平均增产 23.19%。使谷子氮、磷、钾吸收量分别增加 74.4%，36.44%和 22.38%。

(2)施氮方式对作物吸收氮、钾有显著影响，对吸收磷的影响较小。上层均匀施肥处理较上中肥处理吸氮量多 47.3%，吸钾量多 38.7%，而吸磷量平均仅多出 14.0%。

(3)施氮量的多少对氮、磷、钾的吸收都有显著影响，施氮量增加，能促进作物吸收氮、磷、钾。高氮较低氮处理的谷子吸氮量多 80.1%，吸磷多 98.1%，吸钾多 76.5%。

(4)毛管水连续与否，可以通过影响作物吸收、土壤养分迁移等方面而影响土壤养分有效性。有隔水层中室 N_{min} 和有效钾分别较无隔水层的多 14.7%和 24.4%。无隔水层中室有效磷是有隔水层的 1.14 倍。施氮方式也明显影响土壤有效磷、钾的含量。

参 考 文 献

- 山 仑, 陈国良. 1993. 黄土高原旱地农业的理论与实践. 北京: 科学出版社, 1~307
- 李玉山. 1980. 土壤深层储水对小麦产量效应的研究. 土壤学报, 11(1): 1~8
- 樊小林, 张福锁. 1995a. 微型张力计在植物根系提水作用及养分效应研究中的应用. 见: 张福锁主编. 土壤与植物营养研究新动态: 第 2 卷. 北京: 北京农业大学出版社, 120~136
- 樊小林, 石卫国, 曹新华, 等. 1995b. 根系提水作用的土壤水份变异及养分有效性 I. 谷子根系提水作用及根系吸收对土壤水份变异的影响. 水土保持学报, 9(4): 36~42
- 樊小林, 曹新华, 郭立彬, 等. 1996. 根系提水作用的土壤水份变异及养分有效性 II. 黄土性土壤水肥交互和根系提水作用与作物生长效应. 土壤侵蚀与水土保持学报, 2(4): 71~78
- 樊小林, 李生秀. 1997. 植物根系的提水作用. 西北农业大学学报, 25(5): 75~81
- Caldwell M M, Richard J H. 1989. Hydraulic water efflux from upper roots improve effectiveness of water uptake by deep root. Oecologia, 79: 1~5
- Pardles J R, Keno Y. 1990. Development of sorghum root system under increasing drought stress. J Crop Sci, 59: 752~761
- Vetterlein D, Marschner H, Hom R. 1993. Micro-tensiometer technique for in situ measurement of Soil matrix potential and root water extraction from a sandy soil. Plant and Soil, 149(2): 236~241

HYDRAULIC LIFT (HL) AND ITS EFFECT ON SOIL WATER POTENTIAL AND NUTRIENT AVAILABILITY

III. EFFECT OF THE INTERLAYER IN SOIL PROFILE TO PREVENT CAPILLARY TRANSPORT OF SOIL WATER ON PLANT GROWTH AND NUTRIENT UPTAKE AND NUTRIENT AVAILABILITY IN THE SOIL

Fan Xiaolin¹ Li Ling² Zhang Lingang³

(1 College of Natural Resources & Environment, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642,

2 South China Agric. Univ. Scientific Research Management Office; 3 Soil and Water Conservation Institute Academia Sinica)

Abstract

Effect of 2—cm perlite layer in soil profile at 20 cm to prevent soil water transport through capillary on millet growth and its N uptake was studied. The N fertilization rate and fertilization methods were also studied with the results as follows. In the case of continual capillary water transport from bottom of root box to the top of the box, i.e. in the treatment of no perlite layer in the soil profile, millet yield increased by 23.19% and N, P, K uptake by 74.4%, 36.44%, 22.38% in average respectively. Position of N fertilization affected N, P, K uptake. Compared with the treatment of N applied only in the top middle part of the root box, N, P and K uptake in the treatment of N used in whole top part of the box increased by 47.3%, 14.0% and 38.7% separately. Heavy N application rate resulted in the increase of N, P and K uptake. The millet took up 80.1%, 98.1% and 76.5% more N, P and K in the case of high N fertilization rate than the low one. The experiment also improved that with and without the perlite layer affected the available N, P and K in soil remarkably. Comparatively, with the layer N min increased by 14.7% and Olsen P 14.0% in the top middle part of the box, and the K was increased by 24.4% in the topside parts of the root box. It can be concluded that the perlite layer in the soil profile will affect soil nutrients availability by adjusting soil water transport from the bottom to the top of the root box. Their status in the soil then affects the uptake of the nutrients.

Key words perlite layer; capillary transport; soil water and nutrient; nutrient uptake; N, P, K

【责任编辑 李玲】