

冬小麦根区土壤水肥空间耦合 对根系生长及活力的影响

李开峰, 张富仓*, 祁有玲

(西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 以冬小麦小偃22号为管栽试验材料, 通过采用3种湿润方式(整体湿润、上层湿润、下层湿润)及3种施肥方式(整体施肥、上层施肥、下层施肥), 研究了冬小麦根区土壤不同水肥空间耦合方式对不同生育阶段根系鲜重、干重及活力的影响。结果表明:(1) 不同湿润方式下: 与上层湿润和下层湿润方式相比, 整体湿润方式扬花灌浆期的根鲜重分别增加了5.63%和18.09%。整体湿润方式与上层湿润方式下根系活力差异性不明显, 但二者均高于下层湿润处理;(2) 不同施肥方式下: 在分蘖期和拔节期, 上层施肥和整体施肥的根鲜重、干重及根系活力高于下层施肥处理。在扬花灌浆期, 下层施肥方式下根系活力降幅低于其它两种施肥方式。在成熟期, 下层施肥方式下根系出现“早衰”现象;(3) 不同湿润和施肥耦合方式下, 以整体湿润、上层施肥的耦合方式最优, 在提高根系活力和根鲜/干重的同时, 减少了氮、磷在土壤中的残留。

关键词: 水肥空间耦合; 根系活力; 根鲜重; 根干重; 冬小麦

中图分类号: S274.1; S147.24

文献标识码: A

文章编号: 1000-7601(2009)03-0048-05

根系是作物吸收养分和水分的重要器官, 其数量的多少、活性的强弱直接制约地上部分的生长发育和产量的高低。国内外关于水、肥对冬小麦根系的影响已经进行了大量的研究, 取得了重要进展。但以往研究主要集中在水分、养分单因素方面, 主要就土壤水分^[1~5]、灌水方式和灌水时期^[6~8]、肥料种类^[9,10]、施用量^[11,12]、施用时期和施用方法^[13]等对冬小麦根系发生、生长和生理活性的影响进行了研究, 认为不同的水肥处理显著影响冬小麦根系生长和养分吸收, 不合理的水分和养分管理, 不但导致其土壤理化性状恶化, 而且严重影响冬小麦植株根系的生长发育。近些年来, 水肥耦合^[14]或不同种植模式^[15~17]等对冬小麦根系生长发育的影响及其机理的研究受到学者的关注, 但主要侧重于水肥数量和时间的耦合方面, 而对水和肥(氮、磷)空间的耦合研究报道较少, 尤其是根区土壤的水肥空间耦合对冬小麦不同生育期根系生长及根系活力的影响的系统研究则更少。为此, 本研究以管栽土柱试验, 模拟土壤水分、养分空间分布的几种状况, 研究了作物根区土层水、肥(氮、磷)空间组合对冬小麦不同生育期根鲜重、根干重与活力的影响, 阐明对改善旱地作物根系性状和增加根系活力最佳的水分、养分供应层次, 以为旱地合理灌水、施肥方法的制定提供一定参

考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在西北农林科技大学教育部旱区农业水土工程重点实验室遮雨大棚中进行。以冬小麦小偃22为供试材料。供试土壤为西北农林科技大学灌溉试验站的重壤土(20~40 cm), 土壤经自然风干、磨细过2 mm筛。土壤的基本理化性质为:pH 8.14、有机质含量5.2 g/kg、全氮0.77 g/kg、全磷0.35 g/kg、全钾13.8 g/kg、碱解氮8.32 mg/kg、速效磷3.5 mg/kg、速效钾102.30 mg/kg, 土壤田间持水量(θ_F)为24%。试验在自制植物生长装置中进行, 由内径10.5 cm的PVC管纵向锯开加工而成, 长70 cm, 平均分为二段, 中间以2 cm沙石层隔开以阻断上下土层间的水肥交换(不影响根系的正常穿过)。为使灌水均匀, 在装置侧部上下各层留有一对孔以供灌水(孔径1.2 cm), 纵向锯开的PVC管中间留有一定的缝隙后用防水胶带纸密封, 便于土壤含水量的测定。

1.2 试验方法

为控制土壤粘度, 便于灌水均匀, 试验土样由过筛生土和蛭石(19:1)均匀混合后分二段平均装入压

收稿日期: 2008-10-18

基金项目: 国家自然科学基金(50579066, 50879073)

作者简介: 李开峰(1981-), 男, 安徽泗县人, 硕士研究生, 研究方向为节水灌溉理论与技术。E-mail: likf2006@163.com。

* 通讯作者: 张富仓(1962-), 男, 陕西武功人, 教授, 博士生导师。主要从事节水灌溉理论与技术的研究。E-mail: zhangfc@nwsuaf.edu.cn。

实。装土容重控制为 1.3 g/cm^3 , 其中每管装土 5.8 kg 、蛭石 0.3 kg 。为保证冬小麦的正常萌发, 播种前土壤灌水至田间持水量的 80% 。水分处理设: 全土柱整体湿润水分处理(控制 $0\sim 70 \text{ cm}$ 含水量为田间持水量的 $60\%\sim 65\%$, 以 W 表示); 上层干旱、下层湿润水分处理(控制 $0\sim 35 \text{ cm}$ 含水量为田间持水量的 $45\%\sim 50\%$, $35\sim 70 \text{ cm}$ 含水量为田间持水量的 $75\%\sim 80\%$, 以 A 表示); 上层湿润、下层干旱水分处理(控制 $0\sim 35 \text{ cm}$ 含水量为田间持水量的 $75\%\sim 80\%$, $35\sim 70 \text{ cm}$ 含水量为田间持水量的 $45\%\sim 50\%$, 以 B 表示)³ 种方式。

施肥处理设整管施肥(Z)、上层施肥(S)和下层施肥(X) 3 种方式。装土按氮素施用量为 $\text{N } 0.2 \text{ g/kg}$ 、磷素施用量 $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ } 0.2 \text{ g/kg}$ 。以上水分和施肥处理组合共 $3\times 3=9$ 个处理, 进行了 11 次重复, 共计 99 个管柱, 完全随机排列。肥料选用尿素(N, 46%)和过磷酸钙(P_2O_5 , 16%), 装土前将氮肥和磷肥与所施层次土壤均匀混合。土柱上下层次间有可以阻断水分和养分沿土壤毛细管迁移的 2 cm 厚沙石层, 各土层每次加水前先用三参数仪准确测定含水量, 根据含水量和设计水分要求, 通过点灌加入所需水分。待苗长至三叶期, 开始进行湿润方式和灌水水平的不同处理。

冬小麦于 2007 年 10 月 24 日播种, 三叶期后定苗, 每管留苗 7 株。2008 年 5 月 30 日~6 月 4 日收获(各处理在相同成熟条件下收获)。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 根系有关性状的测定 于分蘖期、拔节期、扬花灌浆期、成熟期将植株根系取出, 冲洗掉泥沙, 每处理取 3 株, 测定每株的根系活力、根鲜重、根干重。在每个生育期各处理分别取 2 次重复, 相同重复之间的平均值就是该处理的根系活力、根鲜/干重。以根尖的根系活力作为该植株的根系活性, 根系活力测定采用 TTC 法^[18]。

1.3.2 管内的土壤含水量测定 利用北京渠道公司 WET 土壤三参数仪进行土壤含水量的测定(插针式), 每次沿着管壁预先留有的缝隙横向打入触头, 上下半管各测定三次土壤含水量, 取三次的平均值作为该层的土壤含水量; 在相同重复之间测定的含水量的平均值就是该处理的土壤含水量。每次测完之后用防水塑料胶带封孔, 防止水分遗漏和散失。严格控制各处理土壤含水量, 当含水量降至或接近该层处理水分下限即进行灌水, 灌水至该层水分控

制上限。

所得试验数据用 Excel 和 Spass14.0 统计分析软件处理, 首先对不同处理间指标进行方差分析, 若差异显著, 再进一步进行 Duncan 多重比较。

2 结果与分析

2.1 水肥空间耦合对根系生长的影响

根鲜重是根系生长状况的集中表现, 反映根系发达程度。不同湿润、施肥方式下冬小麦根系鲜重的变化如表 1 所示。

由表 1 可以看出, 不同湿润或施肥方式对冬小麦根鲜重有显著的影响。分蘖期, 不同的施肥方式之间根鲜重差异显著。表现为上层施肥冬小麦的根鲜重最大, 较整体施肥、下层施肥分别平均增加了 27.5% 和 101.1% , 整体施肥与下层施肥方式依次降低; 而不同湿润方式对根鲜重的影响不显著。

拔节期, 3 种施肥方式下的根鲜重均呈增大趋势, 其中, 整体施肥和下层施肥方式增幅较大, 分别比前期平均增加了 59.68% 和 59.07% 。整体施肥和上层施肥方式下的根鲜重没有明显差异, 但二者均高于下层施肥方式, 达到显著水平; 而不同的湿润方式下的根鲜重仍没有明显差异。可以推断, 分蘖到拔节期, 冬小麦的需水量不大, 上层土壤含水量(经观察此阶段根系主要集中在上层空间, 下层土壤水分利用有限)的大小对根系生长的影响较小, 水的效应减小, 肥的效应则相对突出。可见, 上层充足的养分供应对增加根鲜重有重要作用。这与何华等的研究结论一致^[18]。

扬花灌浆期, 下层施肥的根鲜重继续增加, 较拔节期平均增加了 14.56% , 而上层施肥处理平均下降了 18.76% , 可能是下层养分缺乏, 根系生长的后劲不足。在 3 种湿润方式下, 上层施肥和下层施肥的根鲜重没有明显差异。说明下层施肥处理根系在此阶段得到补偿性生长。究其原因, 根系的纵向伸长, 土壤中的下层养分被充分利用, 早期所经受的养分胁迫得以解除, 大大加强了根系生长, 对根系生物量的形成造成积极的影响。此阶段, 湿润方式对根鲜重的影响也凸显出来, 与下层湿润、上层湿润方式相比, 整体湿润方式分别平均增加了 18.09% 和 5.63% 。

成熟期, 根鲜重均大幅度下降, 且下层施肥降幅最大(上层湿润、下层施肥处理除外), 达到 57.35% 。可能是成熟期根系衰老, 养分向籽粒转移的结果。

表 1 水肥空间耦合对冬小麦根系鲜重和干重影响(g)

Table 1 Effect of water and fertilizer spatial coupling on root fresh and dry weight of winter wheat

处理 Treatment	分蘖期 Tillering stage		拔节期 Jointing stage		扬花—灌浆期 Flowering-filling stage		成熟期 Maturing stage	
	鲜重 Fresh weight	干重 Dry weight	鲜重 Fresh weight	干重 Dry weight	鲜重 Fresh weight	干重 Dry weight	鲜重 Fresh weight	干重 Dry weight
	WS	1.21 ^{ab}	0.12 ^{ab}	1.53 ^{ab}	0.28 ^{AB}	1.34 ^{AB}	0.24 ^b	0.86 ^A
WX	0.66 ^{ef}	0.07 ^e	1.21 ^{bc}	0.15 ^D	1.34 ^{AB}	0.26 ^{ab}	0.51 ^D	0.13 ^{BC}
WZ	0.99 ^{cd}	0.11 ^b	1.38 ^{ab}	0.24 ^B	1.41 ^{AB}	0.25 ^{ab}	0.73 ^{AB}	0.15 ^{BC}
AS	1.28 ^a	0.14 ^a	1.35 ^{ab}	0.20 ^{BC}	1.04 ^{CD}	0.18 ^c	0.64 ^{BCD}	0.14 ^{BC}
AX	0.55 ^f	0.07 ^e	0.85 ^d	0.13 ^D	0.92 ^D	0.17 ^c	0.28 ^E	0.06 ^D
AZ	0.85 ^{de}	0.09 ^{cd}	1.74 ^a	0.33 ^A	1.39 ^{AB}	0.23 ^b	0.55 ^{CD}	0.11 ^C
BS	1.17 ^{abc}	0.12 ^{ab}	1.58 ^{ab}	0.28 ^{AB}	1.25 ^{BC}	0.28 ^a	0.70 ^{BC}	0.14 ^{BC}
BX	0.61 ^f	0.07 ^e	0.85 ^d	0.13 ^D	1.06 ^{CD}	0.19 ^c	0.75 ^{AB}	0.15 ^{BC}
BZ	1.03 ^{bcd}	0.10 ^{bc}	1.39 ^{ab}	0.25 ^{AB}	1.55 ^A	0.26 ^{ab}	0.87 ^A	0.20 ^A
显著性检验(F 值) Test of significance(F value)								
湿润方式 Wet mode	0.77	0.58	0.53	0.01	21.4 ^{**}	28.5 ^{**}	62.1 ^{**}	36.8 ^{**}
施肥方式 Fertilization mode	74.1 ^{**}	47 ^{**}	20.2 ^{**}	55 ^{**}	42.8 ^{**}	15.3 ^{**}	43.3 ^{**}	21 ^{**}
湿润×施肥 Wet×Fertilization	1.60	2.17	3.39	7.6 ^{**}	6.9 ^{**}	11.5 ^{**}	13.9 ^{**}	11.3 ^{**}

注: * 表示差异显著, ** 表示差异极显著; a, b, c 等分别表示 $P=5\%$ 水平下显著性差异; A, B, C 等分别表示 $P=1\%$ 水平下显著性差异, 以下同。

Note: * means significant difference, while ** means much significant difference; a, b and c means significant difference in Duncan ($P=0.05$); while A, B and C means significant difference in Duncan ($P=0.01$). The same as follows.

根系干重与鲜重有较强的相关性。不同湿润和施肥方式冬小麦根系干重的变化如表 1 所示, 由表 1 的结果可以看出, 根系干重的变化特征及总体趋势与根系鲜重结果基本一致, 但受到不同生育期根系含水率变化的影响, 根干重与鲜重的变化规律也不完全相同。与根系鲜重不同的是, 根系干重在扬花灌浆期达到最大值; 在整体湿润和上层湿润方式下, 3 种施肥方式成熟期的根干重没有明显差异; 且在同一生育期, 不同处理间的差异程度稍小一些。

从整个生育期来看, 冬小麦从出苗到拔节期的需水量不大, 养分成为此阶段冬小麦根系生长的限制性因子, 由于根系的纵向伸长有限, 使得下层施肥处理的根系受到一定程度的养分胁迫; 但在作物需水需肥量大的中后期, 由于根系的纵向伸长, 土壤中下层水分养分被充分利用, 大大加强了根系的生长, 但前期对根系生长造成的影响依旧存在, 下层施肥处理的根鲜重在成熟期迅速下降, 出现“早衰”现象。

2.2 水肥空间耦合对根系活力的影响

TTC 法测定植物根系活力是基于无色的 TTC 能被根系还原为红色的物质, 产物的多少与根系的琥珀酸脱氢酶活性成正比, 而琥珀酸脱氢酶是根系内

的重要酶之一, 因此可用单位时间内单位质量的根系还原的 TTC 的量[单位为 $\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$]来表示根系活力的强弱^[19]。受不同水肥空间耦合方式处理影响最直接的是冬小麦植株的根系, 土壤水分、养分状况不同, 势必影响植株根系活力。表 2 为冬小麦不同生育期根系活力的测定结果。

由表 2 可以看出, 不同湿润和施肥方式对作物根系活力有显著影响。分蘖期, 在整体湿润和上层湿润方式下, 上层施肥和整体施肥的根系活力较高, 与下层施肥相比, 分别增加了 26.91%、25.57% 和 11.58%、27.82%, 而上层施肥与整体施肥方式的根系活力没有一致规律。在 3 种施肥方式下, 整体湿润的根系活力高于上层湿润和下层湿润方式, 达到极显著差异, 而后二者之间缺乏规律性; 其中, 在上层施肥方式下, 下层湿润的根系活力小于整体湿润和上层湿润方式, 可见, 在上层土壤含水量(45%~50%)较低条件下, 增施肥料并不能提高冬小麦的根系活性。这一现象与同时期根鲜重的变化规律不同, 与根鲜重相比, 根系活力对水肥的敏感程度高。拔节期, 不同处理根系活力的大小顺序与分蘖期基本相同。

表2 水肥空间耦合对冬小麦根系活力(TTC)影响

Table 2 Effect of water and fertilizer spatial coupling on root activity of winter wheat

处理 Treatment	根系活力TTC Root activity [mg/(g·h)]			
	分蘖期 Tillering stage	拔节期 Jointing stage	扬花灌浆期 Flowering-filling stage	成熟期 Maturing stage
WS	0.63±0.009A	0.30±0.013A	0.17±0.008A	0.10±0.01C
WX	0.46±0.013C	0.22±0.007C	0.11±0.01CD	0.09±0.003CD
WZ	0.52±0.005B	0.26±0.004B	0.09±0.007CDE	0.188±0.003A
AS	0.31±0.011E	0.16±0.004D	0.06±0.004F	0.03±0.002F
AX	0.32±0.003E	0.16±0.000D	0.08±0.006DE	0.06±0.008E
AZ	0.53±0.013B	0.27±0.018B	0.07±0.007EF	0.08±0.004D
BS	0.39±0.036D	0.20±0.003C	0.11±0.000C	0.06±0.000E
BX	0.29±0.01E	0.15±0.004D	0.14±0.009B	0.03±0.000F
BZ	0.40±0.007D	0.20±0.017C	0.08±0.002E	0.13±0.000B
显著性检验(F值) Test of significance(F value)				
湿润方式 Wet mode	257.97**	118.61**	100.58**	394.85**
施肥方式 Fertilization mode	121.90**	67.68**	47.40**	407.66**
湿润×施肥 Wet×Fertilization	66.61**	32.69**	45.02**	44.74**

随着生育进程的推进,根系活力呈下降趋势。扬花灌浆期,在上层湿润和下层湿润方式下,下层施肥处理的根系活力较拔节期分别减小了2.54%和45.12%,降幅小于上层施肥和整体施肥方式下的59.71%、72.64%和44.3%、57.13%。可以推断,冬小麦经过前期生长,根系纵向伸长,下层土壤养分被充分利用,促进了根系生长发育。这与前期上层灌溉条件下根系活力的变化规律是相同的。进一步说明了一定土壤水分条件下,施肥能明显改善土壤供肥能力,增强植株的根系活力。在相同的施肥条件下,整体湿润、上层湿润方式下的根系活力高于下层湿润,但前二者在整体上没有显著差异。表明,一方面,随着生育进程的推进,冬小麦叶面蒸腾量升高,耗水量增大,而根系多集中在上层空间,因此,下层湿润方式冬小麦根系受到一定程度的水分胁迫。另一方面,上层湿润方式的根系活力不是最大,说明土壤含水量与根系活力并不是呈正比例关系,还存在一定的节水空间。这与邢维芹等对玉米的研究结果一致^[20]。成熟期,整体施肥方式的根系活力显著高于其他处理。表明充足的供肥有利于根系保持较高的活力。

同一处理的根系活力在不同生育期的差异也较明显。从生育进程动态看,总的规律是随着生育进程的推进根系活力均表现出下降的趋势。虽然灌溉施肥对根系活力有不同程度的影响,但不能仅以土壤水、肥等环境条件的差异来进行解释,更重要的还

应该考虑生育阶段的影响。特别是成熟期根系活力显著下降是根系衰老、根系营养向籽粒运转的必然结果,也是作物进化过程中适应性的一种体现。但部分处理的根系活力在成熟期具有“反弹”上升现象,这与赵秉强等在间套早春玉米根系活力的研究的结果一致^[21],其原因有待于进一步研究。

3 讨论与结论

冬小麦在出苗到分蘖期间,叶面蒸腾量较少,耗水量不大。这时的生长中心是根系,为使根系发育良好,必须保持土壤一定的养分含量以供根系吸收。较下层施肥,整体施肥和上层施肥处理有利于苗期冬小麦的根系生长,因而根系重量和活力优势明显。在拔节期,随着根系的纵向伸长,下层施肥处理的根重迅速增加,根系活力也保持较高水平,尤其以水肥同区的下层湿润下层施肥处理增加最为迅速;而上层施肥和整体施肥的根重则平稳增加,为中后期冬小麦的生殖生长奠定了良好基础。在扬花灌浆期,冬小麦转入生殖生长阶段,根系的养分有向穗部转移的趋势,根重有所下降。而下层施肥处理的根重有不降反升,增加明显,由此可以推断,前期养分胁迫,依制了其根系的生长,进入生殖生长阶段后,水肥条件改善,促进了根系生长。由于此阶段冬小麦应以生殖生长为主,势必影响到穗部的生长和籽粒的产量。因此,在成熟期,受生育阶段的影响,下层施肥处理的根系活力迅速下降,出现“早衰”。

由以上分析可以得到以下主要结论:

1) 在不同施肥方式下, 下层施肥处理不同程度降低了分蘖期和拔节期冬小麦根鲜重、干重和根系活力; 在扬花灌浆期, 下层施肥处理根鲜重和干重增长较明显, 根系活力高于上层和整体施肥处理, 但该方式处理的根鲜重、干重仍低于上层和整体施肥处理。

2) 在不同湿润方式下, 根鲜重、干重在分蘖和拔节期差异性不显著, 但在扬花灌浆期整体湿润方式处理明显高于上层和下层湿润方式处理; 整体湿润方式下的根系活力在整个生育期内均高于其他两种方式处理。

3) 在湿润和施肥耦合方式下, 整体湿润上层施肥和整体湿润整体施肥组合处理的根鲜重、干重及根系活力较高, 表明土壤上层(0~35 cm)较充分的水肥配合供应有利于提高冬小麦根系的生物量及活力; 不同水肥耦合方式对作物根系活力的影响大于对根鲜重、干重的影响。

4) 从整个生育期看, 以整体湿润、上层施肥的耦合方式最优, 在提高根系活力和根鲜/干重的同时, 肥料(N、P)施用量减半, 减少了氮、磷在土壤中的残留, 从而产生了一定的经济和生态效益。

参考文献:

- [1] 石 岩, 于振文, 位东斌, 等. 土壤水分胁迫对小麦根系与旗叶衰老的影响[J]. 西北植物学报, 1998, 18(2): 196—201.
- [2] 程宪国, 汪德水, 张美荣, 等. 不同土壤水分条件对冬小麦生长及养分吸收的影响[J]. 中国农业科学, 1996, (4): 67—73.
- [3] 杨书运, 严 平, 梅雪英, 等. 土壤水分亏缺对冬小麦根系的影响[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(2): 309—313.
- [4] 孙存化, 白 嵩, 白宝璋, 等. 水分胁迫对冬小麦幼苗根系生长和生理生态的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2003, 25(5): 485—489.
- [5] 刘晓英, 罗远陪. 水分胁迫对冬小麦生长后效影响的模拟研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 28—31.

- [6] 胡田田, 康绍忠. 局部灌水方式对玉米不同根区土—根系统水分传导的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 11—16.
- [7] 胡田田, 康绍忠. 局部灌水条件下不同根区在作物吸水中的作用[J]. 作物学报, 2007, 33(5): 776—781.
- [8] 李志军, 张富仓, 康绍忠. 控制性根区交替灌溉对冬小麦水分与养分利用的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 17—21.
- [9] 梁银丽, 陈培元. 土壤水分和氮磷营养对冬小麦根苗生长的效应[J]. 作物学报, 1996, 22(4): 476—481.
- [10] 马 强, 宇万太, 沈善敏, 等. 旱地农田水肥研究进展[J]. 应用生态学报, 2007, 18(3): 665—673.
- [11] 汪德水, 程宪国, 张美荣. 旱地土壤中的肥水激励机制[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(1): 64—70.
- [12] Amon I. Physiological principles of dryland crop production [C]// Gupta US editor. Physiological Aspects of Dryland Farming. New Delhi: Oxford and IBH publishers Co, 1975: 3—146.
- [13] 石 玉, 于振文, 李延奇, 等. 施氮量和底肥比例对冬小麦产量及肥料氮去向的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(1): 54—62.
- [14] Shama B R, Chaudhary T N. Wheat root growth, grain yield and water uptake as influenced by water regime and depth of nitrogen placement in a sand soil [J]. Agricultural Water Management, 1983, 6: 365—373.
- [15] 赵秉强, 张福锁, 李增嘉, 等. 间作冬小麦根系数量与活性的空间分布及变化规律[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(2): 214—219.
- [16] 黄高宝, 张恩和. 禾本科、豆科作物间套种植对根系活力影响的研究[J]. 草业学报, 1998, 7(2): 18—23.
- [17] 黄高宝, 张恩和. 调亏灌溉条件下春小麦玉米间套农田水、肥与根系的时空协调性研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 53—57.
- [18] 何 华, 康绍忠, 曹红霞. 灌溉施肥部位对玉米同化物分配和水分利用的影响[J]. 西北植物学报, 2003, 23(8): 1458—1461.
- [19] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安: 世界图书出版社西安公司, 2000: 92—93.
- [20] 邢维芹. 半干旱地区玉米的水肥空间耦合效应研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 46—49.
- [21] 赵秉强, 张福锁, 李增嘉, 等. 间套作条件下作物根系数量与活性的空间分布及变化规律研究 II. 间作早春玉米根系数量与活性的空间分布及变化规律[J]. 作物学报, 2001, 27(6): 974—979.

(英文摘要下转第 83 页)

Study on effect of using different water absorbents on jujube in slope land under the condition of drip irrigation

WANG Yong^{1,3}, WANG Xing¹, WANG You-ke^{1,2,3}, SONG Hai-yan^{1,3}, YANG Zhi-yi²

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. National Engineering Research Center for Water-saving Irrigation at Yangling, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Through the field experiment for the purpose of studying the effect of using water absorbent on jujube in slope under the condition of drip irrigation. The results showed that the soil water of under water absorbent treatments raised by 15.3%~39.2% compared to the control, keeping higher water storage in 10~70 cm soil layer. In cases of the many years of the 395 mm rainfall during growth period, 4 times of irrigation is needed for Jujube trees in the whole growth period (210 d), with an interval of about 55 days. However, with the treatments of water absorbent, two times of irrigation can be reduced, saving 264 m³ water per hectare, and the average bulk density of soil is reduced by 0.05~0.16 g/cm³ in 0~60 cm, thus improving soil physical properties of air and water permeability and promoting the growth and development of jujube trees. Compared to 5.6 kg per tree of the control, the yield of a four-year-old jujube tree is increased by 2.85 kg. Among different water absorbents, Hs and Hm show better suitability.

Keywords: drip irrigation; water absorbent; jujube tree

(上接第 52 页)

Effects of water and fertility spatial coupling in rootzone soil of winter wheat on root growth and activity

LI Kai-feng, ZHANG Fu-cang, QI You-ling

(Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education,

Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Effects of water and fertility spatial coupling on root fresh and dry weight and root activity were studied at different growing stages of winter wheat (Xiaoyan No. 22). The experiment contains three kinds of wet ways (i.e. the overall soil wetting, the upper soil wetting and the lower soil wetting) and three kinds of fertilization ways (the overall soil fertilization, the upper soil fertilization and the lower soil fertilization). The results showed as follows: (1) Under different soil wetting treatment, fresh root weight of winter wheat with the treatment of overall soil wetting at flowering—filling stage was increased compared to the treatments of the upper and the lower soil wetting, with an average raise of 5.63% and 18.09%, respectively. There was no obvious difference of root activity between the treatments of overall soil wetting and the upper soil wetting, but the root activity of the treatments of overall soil wetting and the upper soil wetting were higher than the treatment of lower soil wetting; (2) Under different fertilization ways, the root fresh and dry weight and root activity of the upper and overall fertilization treatment was higher than that of the treatment of the lower fertilization at tillering and jointing stage. At flowering—filling stage, the reducing rate of root activity by the treatment of lower fertilization was lower than other two treatments. At maturing stage, there was a “premature senility” phenomenon of root activity in the treatment of soil lower fertilization; (3) From the coupling effect of soil wetting and fertilization mode from the changes of the winter wheat root activity, the combination treatment of overall soil wetting and the upper soil fertilization was the best, which can enhance the root fresh and dry weight and root activity and reduce residues of nitrogen and phosphorus in the soil.

Keywords: water and fertilizer spatial coupling; root activity; root fresh and dry weight; winter wheat