

控制性根系分区交替灌溉对冬小麦水分与养分利用的影响

李志军¹, 张富仓¹, 康绍忠^{1,2}

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

2. 中国农业大学中国农业水问题研究中心, 北京 100094)

摘 要: 以移栽小麦为试验材料, 采用盆栽的方法研究了 3 种不同灌水方式: 全面积均匀灌水(对照)、控制 1/2 区域交替灌水(CRD I)和控制固定 1/2 区域灌水对冬小麦水分与养分利用的影响。研究结果表明: 在同一灌水方式中土壤含水率下限小的冬小麦根冠比大, 且根系总的干重大; CRD I 对根系生长有显著促进作用, 使根均匀分布在土壤中, 且根长密度较对照大; 对于 CRD I, 当控制土壤含水率下限由 65% θ_r 变化为 55% θ_r 时, 耗水量下降了 35%, 节水效果明显; 土壤含水率较高, 有利于冬小麦根系对土壤中离子态养分的吸收; 土壤含水率下限相同时, 3 种不同的灌水方式中, 土壤中 $H_2PO_4^-$ 和 $NH_4^+ - N$ 离子浓度均呈现出递减的趋势, 而 $NO_3^- - N$ 离子浓度却呈现出明显的递增趋势, 在同一土壤含水率下, CRD I 对养分离子的吸收优于其它两种灌水方式。

关键词: 控制性分根交替灌水; 水分与养分利用; 冬小麦

中图分类号: S275.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)08-0017-05

李志军, 张富仓, 康绍忠. 控制性根系分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.

Li Zhijun, Zhang Fucang, Kang Shaozhong. Impacts of the controlled roots-divided alternative irrigation on water and nutrient use of winter wheat[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(8): 17- 21. (in Chinese with English abstract)

0 引言

近年来, 控制性分根交替灌水技术(CRD I)作为一种新的农业节水技术, 已经在许多作物上作了试验研究, 并取得了明显的节水效应^[1-3]。大量的研究表明, 分根区交替灌溉可以刺激根系吸水的补偿效应, 减少蒸腾而使光合作用维持在较高水平, 减少作物的生长冗余, 在同等生物量或经济产量的情况下, 控制性分根交替灌溉比常规灌溉节水 33% 以上^[4-6]。关于 CRD I 对作物养分吸收的影响, Benjamin (1998) 研究了隔沟灌溉带状施肥对玉米生长和 N 肥吸收的影响, 表明在干旱年份当 N 肥施在不灌水沟时, N 肥吸收降低 50%, 在相对湿润年份灌水沟和不灌水沟之间肥料吸收无差异^[7]。Lehrsch (2000) 研究了不同隔沟灌溉方式对玉米生长和 NO_3^- 淋洗的影响, 表明交替隔沟灌溉, 在维持作物产量的同时, 可使土壤氮的吸收增加 21%^[8]。Skinner (1998) 报道了隔沟灌溉施肥对玉米根系分布的影响, 不灌水沟与灌水沟相比根生物量增加了 26%, 若生长季早期湿度合适, 灌水沟和不灌水沟上下根层根量都增加, N 的吸收也因此而增加^[9]。Skinner (1999) 研究了交替和普通灌溉方式下玉米的氮素的吸收和分配, 研究认为, 交替沟灌并将肥料施于干沟内, 可减少肥料淋溶的可能

性, 在交替灌溉下作物对氮的吸收也减少, 与普通灌溉相比, 交替沟灌的施肥条件下, 土壤硝酸根含量在营养生长期和生殖生长期较高^[10]。在国内, 韩艳丽, 康绍忠等 (2001) 研究了控制性分根交替灌溉对玉米养分吸收的影响^[11]。高明霞, 王国栋等 (2004) 研究了不同灌溉方式下玉米根际土壤硝态氮的分布^[12]。关于 CRD I 对小麦水分和养分吸收的影响, 至今还未见报道。本文利用盆栽试验, 研究了 CRD I 对冬小麦生长和养分吸收的影响, 以期为此种灌水方式在小麦作物上的利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验处理

试验在西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室温室进行。选用冬小麦为试验材料, 于 2 月 24 日移栽, 时值小麦返青期, 试验容器尺寸为 48 cm × 30 cm × 38 cm, 3 月 6 日于每个试验箱中施尿素 235 g (75 kg/hm²), 磷酸二氢钾 54 g (112.5 kg/hm²)。试验用土为西北农林科技大学节水灌溉试验站内大田土壤, 控制干容重为 1.25 g/cm³, 田间持水量 (θ_r) 为 24.0%。对照(全面积均匀灌水)内土壤不分区, 控制 1/2 区域交替灌水和控制固定 1/2 区域灌水的容器中用薄塑料板分根, 以阻止两侧水分交换。在小麦的生长发育过程中, 运用的农业技术措施均相同。每个容器中生长有三行小麦, 其中一行在容器分隔的中部, 用于取样用。

各种处理的土壤含水率下限指标控制为两种水平, 即 55% θ_r 和 65% θ_r , 对应的含水率分别为 15.4% 和 18.2% (占干土重%)。每种处理 4 次重复。控制固定 1/2 区域灌水的处理, 每次始终让某特定的 1/2 区域湿润,

收稿日期: 2004-12-21 修订日期: 2005-06-30

基金项目: 国家“十五”节水农业重大专项(2002AA 2Z4041)

作者简介: 李志军(1976-), 男, 助理实验师, 研究方向: 节水灌溉条件下作物水分和养分的利用。杨凌 西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 712100

通讯作者: 张富仓(1962-), 男, 工学博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 节水灌溉条件下作物水分和养分的利用。杨凌 西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 712100.

Email: zhangfucang@tom.com

而另外的 1/2 区域始终保持干燥。控制 1/2 区域交替灌水的处理, 每次灌水在两个区域之间轮流供水。本次灌水的区域下次灌水时不灌, 本次未灌水的区域下次为灌水区。而全面积均匀灌水处理则是每次为对容器内的整个区域都进行灌水, 其灌水量为固定 1/2 区域灌水和交替 1/2 区域灌水的 2 倍。

1.2 测定项目

1) 土壤含水率, 每 3 d 用 TDR 测定一次各容器中同一层次的土壤含水率(体积含水率), 高水分区土壤含水率低于设计的土壤含水率下限时, 进行灌水。灌水量由量筒量取, 每次记录灌水量。由水量平衡方程计算出各时期的总耗水量。

2) 测定土壤中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 和 H_2PO_4^- 离子的浓度。在冬小麦的生育期内取 3 次土样进行分析。

3) 根系干重用分析天平称重, 冬小麦籽粒重用普通天平称重。水分利用效率(WUE)用各处理地上部茎叶烘干重与总耗水量的比值表示。叶片蒸腾速率、光合速率和气孔阻力用 CD-301PS 型光合测定系统测定。根系长度用钢尺测量。秸秆干重用电子天平称重。

2 结果与分析

2.1 CRD I 对冬小麦根系生长和根冠比的影响

根系是植物的主要器官, 同时也是光合同化产物的一个巨大的库, 在土壤水转化为作物水的过程中起着关键作用。根系的长势好坏直接关系到植株长势的好坏、产量的提高和水分利用效率。

表 1 CRD I 条件下冬小麦根系干重及根冠比

Table 1 Changes in root dry weight and root:canopy ratios of winter wheat under CRD I

处 理	65% θ_r		55% θ_r	
	根系干重/g	根冠比	根系干重/g	根冠比
控制 1/2 区域交替灌水	0.688	0.044	0.598	0.050
控制固定 1/2 区域灌水	0.392	0.031	0.608	0.048
全面积均匀灌水	0.421	0.027	0.579	0.058

表 1 为控制性分根交替灌溉条件下冬小麦的根系干重及根冠比情况。结果表明, 在同一灌溉方式处理中, 随土壤含水率下限的降低, 根冠比增大。当土壤水分下限在 55% θ_r 时, 1/2 交替灌水根系干重与全面积均匀灌水方式差异不大; 土壤含水率下限在 65% θ_r 时, 对照的根系总量与控制 1/2 区域交替灌水处理根系总量差别较大, 而与控制固定 1/2 区域灌水处理差异不大。控制 1/2 区域交替灌水的干燥区和湿润区中根量相差 0.03 g, 而固定 1/2 区域灌水的处理, 干燥区和湿润区中根量相差达 0.11 g。可见, 对不同区域进行交替灌水不仅能够使根系总量增加, 还能使根系在土壤中均匀分布而充分利用水肥资源。总体上, 当土壤含水率下限为 65% θ_r 和 55% θ_r 时, 对冬小麦而言, 控制 1/2 区域交替灌水处理中根系总量与根冠比均大于全面积均匀灌水的处理。与对照相比较, 在耗水量和灌水量减少的条件下, 控制 1/2 区域交替灌水方式根量和根冠比均有所

增加, 对根系生长具有促进作用, 同时与控制固定 1/2 区域灌水处理相比, 它能够使根系在土壤中均匀分布。

2.2 CRD I 对冬小麦根系密度的影响

不同灌水方式下冬小麦根数及根长密度的测定结果列于表 2 中。从表 2 可以看出, 各种灌水方式及不同的土壤含水率下限情况下, 冬小麦的根长密度出现较大差异。当土壤含水率下限为 65% θ_r 和 55% θ_r 时, 控制 1/2 交替灌水处理平均根长密度明显高于全面积灌水和控制固定 1/2 区域灌水的处理。不同含水率下限比较, 控制土壤含水率下限为 65% θ_r 的交替灌水和固定灌水处理平均根长密度略高于控制土壤含水率下限为 55% θ_r 的处理。这一现象表明, 采用交替灌水方式可以刺激根系的生长; 而控制较低的土壤含水率下限水平虽然提高了根冠比, 但对冬小麦根系总的生长并不产生多大的作用。

表 2 不同灌水方式下冬小麦根条数及根长密度

Table 2 Changes of root quantity and density per root length of winter wheat under different irrigation methods

灌水方式	重复	65% θ_r		55% θ_r	
		根数	根长密度 /cm · m ⁻³	根数	根长密度 /cm · m ⁻³
控制 1/2 区域 交替灌水	1	33	825	33	891
	2	38	988	32	904
	3	31	837	49	931
	4	41	989	-	-
	平均	35.8	909.8	38.0	908.7
土壤全面积 均匀灌水	1	39	897	32	768
	2	36	900	43	989
	3	36	792	45	925
	4	41	902	50	900
	平均	38.0	872.8	42.5	895.5
控制固定 1/2 区域灌水	1	-	-	38	760
	2	37	814	-	-
	3	38	950	41	984
	4	-	-	37	666
	平均	37.5	882.0	38.7	803.3

2.3 CRD I 对冬小麦生物量与水分利用效率的影响

由实测结果(表 3)可以看出, 在全面积均匀灌水的对照处理中, 随着土壤含水率的降低, 耗水量也有所降低。水分利用效率在中度水分亏缺时最高, 这与以前有限灌水对水分利用效率的影响研究结论一致。当土壤含水率下限同为 65% θ_r 时, 控制 1/2 区域交替灌水的水分利用效率与控制固定 1/2 区域灌水差别不大, 而以对照处理为最低; 当土壤含水率下限为 55% θ_r 时, 水分利用效率以控制 1/2 区域交替灌水为最大, 达到 1.80 g/kg, 其次为对照处理, 控制固定 1/2 区域灌水处理的水分利用效率最低。在所有处理中, 不论何种土壤含水率下限水平, 控制 1/2 区域交替灌水的 WUE 最高, 且对不同区域根系进行交替湿润比全面积均匀灌水和固定在某一区域湿润方式的 WUE 明显增加。在土壤含水率下限由 65% θ_r 降至 55% θ_r 时, 控制 1/2 区域交替灌水条件下, 冬小麦干物质下降了 14% 左右, 而耗水量则

下降了 35% 左右, WUE 大幅度提高, 节水效果明显。

表 3 CRD I 条件下冬小麦的耗水量、干重量与水分利用效率

Table 3 Changes of water consumption, dry weight and water use efficiency of winter wheat under CRD I

处理	耗水量/kg		生物量/g		水分利用效率/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	
	65% θ_r	55% θ_r	65% θ_r	55% θ_r	65% θ_r	55% θ_r
控制 1/2 区域交替灌水	15.833	10.252	21.58	18.41	1.36	1.80
控制固定 1/2 区域灌水	19.006	13.896	23.50	19.80	1.24	1.43
土壤全面积均匀灌水	25.915	17.833	26.11	25.90	1.01	1.45

2.4 CRD I 对土壤中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 离子浓度的影响

试验结果分析表明: 两种控制土壤含水率下限水平下土壤中铵态氮的浓度呈现出在生育前期降低较快, 而后降低较慢的趋势。只是随着灌水方式的不同, 降低的幅度不同而已。在交替灌水处理中, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的浓度在容器中沿纵向分布较为均匀, 且控制含水率范围不同对其浓度值影响不大。在全面积均匀灌水处理中, 其总的浓度变化与交替灌水处理差异不大, 但在测桶底部的浓度明显大于其它处理, 这说明在全面积灌水的条件下, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 有可能运移到底部而产生淋失。固定部分区域灌水的处理, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 浓度明显大于全面积灌水和交替灌水的处理, 说明在此处理中根系吸收 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的能力降低。

当控制土壤含水率下限相同时, 在不同的灌水方式下, 土壤中铵态氮的浓度随取土时间和土层深度的变化而变化。当土壤含水率下限控制为 65% θ_r 时, 不同灌水方式中的平均 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 离子的浓度随冬小麦生育期时间(取土时间)的变化如图 1a 所示。从图 1a 中可以看出, 在冬小麦生长的早期阶段, 不论何种灌水方式, 0~30 cm 土壤中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 离子的浓度都急剧下降, 表明此时作物对肥料的吸收能力很强。但在后期, 下降的趋势变缓。在第一阶段, 交替灌水处理中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 离子浓度下降的幅度最大, 也就是说, 该灌水方式下冬小麦对 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的吸收最多。其次, 为全面积均匀灌水的处理。在 65% θ_r 含水率下限条件下, 试验期间(5 月 10 日)平均的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 离子浓度在土壤垂向剖面的分布如图 1b 所示。从图 1b 中可以看出, 固定灌水处理中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 离子浓度在容器中最高, 上下较低, 说明根系的吸收能力降低; 与此形成对照的是, 在交替灌水和全面积均匀灌水处理中, 肥料主要是在土层中部被冬小麦根系吸收, 而在固定区域灌水处理中, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 主要是在土壤表层被吸收。

在控制土壤含水率下限为 55% θ_r 时, 土壤中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 离子浓度的变化如图 2 所示, 在图 2a 中, 不同灌水方式下 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 离子浓度随生育期时间(取土时间)的变化规律与控制土壤含水率下限为 65% θ_r 时的情况非常类似。值得注意的是, 图 2b 中, 3 条曲线的变化都比较平缓, 表明此时 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 离子在土壤垂向剖面

分布是比较均匀的, 全面积均匀供水的处理, 此时由于土壤含水率下限降低, 底部的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 离子浓度明显低于 65% θ_r 下限时的值, 说明此下限条件下向底部的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 离子运移明显减少。

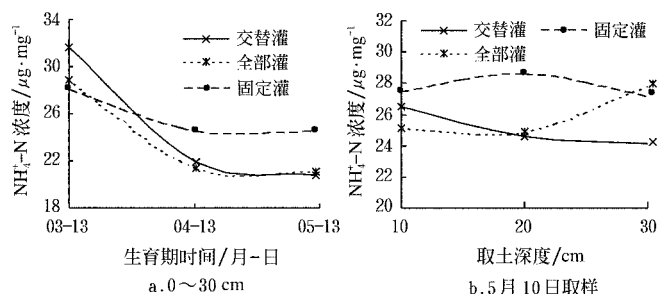


图 1 含水率下限为 65% 时不同灌水方式下 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 随生育期时间和土层深度的变化

Fig 1 Changes of soil $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ concentration within growth period and soil profile under different irrigation methods when lower limit of soil water content is 65% field capacity

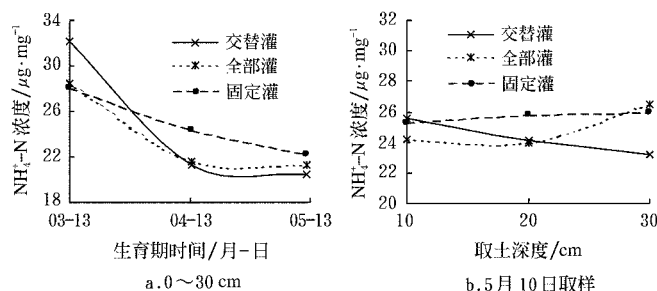


图 2 含水率下限为 55% 时不同灌水方式下 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 随生育期时间和土层深度的变化

Fig 2 Changes of soil $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ concentration within growth period and soil profile under different irrigation methods when lower limit of soil water content is 55% field capacity

2.5 不同灌水方式对土壤中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 离子浓度的影响

土壤中的硝态氮是一种能被作物直接吸收利用的矿质氮。试验结果表明, 总体上, 硝态氮离子在土壤中的浓度是随着冬小麦的生长而逐渐增高的, 这可能是向土壤中施入的氮肥矿化后又硝化的结果。不同灌水方式下土壤中硝态氮离子浓度的变化情况如图 3 和图 4 所示。

当土壤含水率下限为 65% θ_r 时, 不同灌水方式下硝态氮离子浓度随生育期时间(取土时间)的变化情况为: 冬小麦在交替灌水处理中, 随生长阶段的不同, 硝态氮的浓度是先降低后升高; 全面积均匀灌水的情形与之类似; 而固定灌水处理中, 其变化则平缓得多, 但随着生育期的延长有增加的趋势。在冬小麦生长的前一阶段, 交替灌水和全面积均匀灌水处理中的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 离子浓度的降幅相当, 表明在这两种处理下的冬小麦根系对土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 吸收能力相当。固定灌水处理下, 冬小麦的吸收能力则小得多。硝态氮的浓度在土壤垂直剖面上的

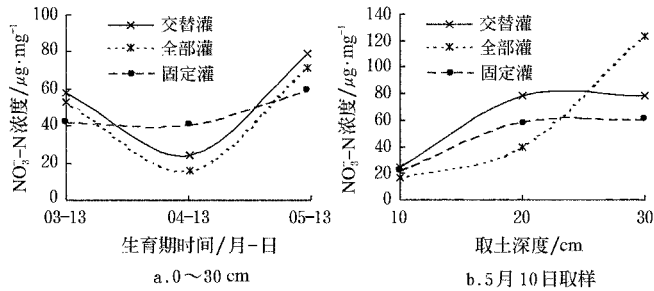


图3 土壤含水率下限为 65% 时不同灌水方式下 $\text{NO}_3\text{-N}$ 随生育期时间和土层深度的变化

Fig 3 Changes of soil $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration with in growth period and soil profile under different irrigation methods when lower limit of soil water content is 65% field capacity

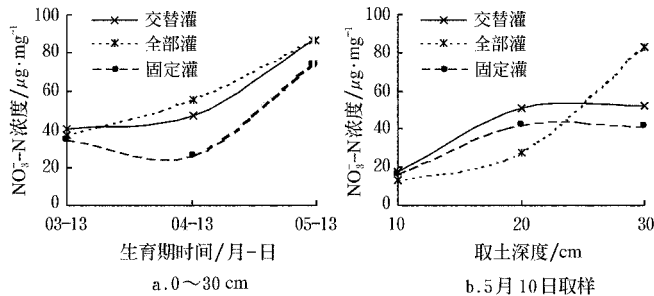


图4 土壤含水率下限为 55% 时不同灌水方式下 $\text{NO}_3\text{-N}$ 随生育期时间和土层深度的变化

Fig 4 Changes of soil $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration with in growth period and soil profile under different irrigation methods when lower limit of soil water content is 55% field capacity

逐渐减小, 试验结果也证明了这一点。

土壤控制含水率相同, 灌水方式不同时, 冬小麦对土壤中有机磷的吸收是有差异的, 总的来说, 交替灌水和全面积均匀灌水要好于固定部分区域灌水, 交替灌水优于全面积均匀灌水。

当土壤含水率控制下限为 65% θ_r 时, 交替灌水处理的冬小麦在生长前期对土壤中有效磷的吸收量最多。全面积均匀灌水和固定部分区域灌水处理的吸收量相差不多, 但均低于交替灌水的处理。

当控制土壤含水率下限为 55% θ_r 时, 各种灌水方式下, 冬小麦对土壤中有机磷的吸收几乎完全相同。无论在量上还是过程上都表现出惊人的相似。在这种情况下, 交替灌水和固定部分区域灌水处理优于全面积均匀灌水, 因为虽然三者对磷的吸收能力相同, 但是后者是以大量灌水为代价的。

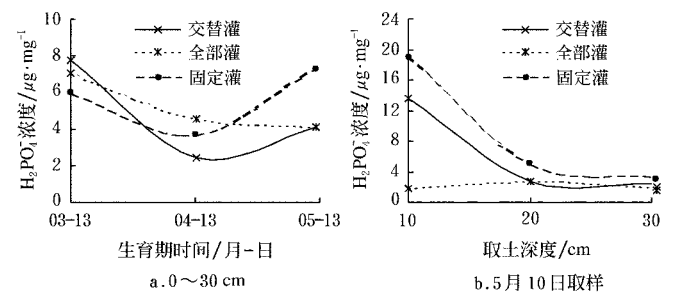


图5 土壤含水率下限为 65% 时不同灌水方式下 H_2PO_4^- 随生育期时间和土层深度的变化

Fig 5 Changes of soil H_2PO_4^- concentration with in growth period and soil profile under different irrigation methods when lower limit of soil water content is 65% field capacity

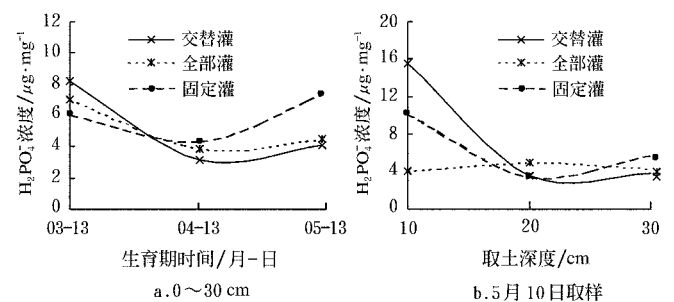


图6 土壤含水率下限为 55% 时不同灌水方式下 H_2PO_4^- 随生育期时间和土层深度的变化

Fig 6 Changes of soil H_2PO_4^- concentration with in growth period and soil profile under different irrigation methods when lower limit of soil water content is 55% field capacity

关于不同土壤含水率下限条件下的 H_2PO_4^- 浓度在垂直剖面上的分布规律可由图 5 和图 6 中明显看出: 在 3 种灌水方式中, 全面积均匀灌水处理的 H_2PO_4^- 浓度分布是最均匀的。交替灌水和固定部分区域灌水处理的土壤其上层的有效磷含量最大, 是作物吸收有效磷的主要补给区。有效磷的这种空间分布形式在不同土壤含水

分布 3 个处理间也有明显的差异, 仍然是在全面积灌水的处理中下部的硝态氮浓度较高。

当土壤含水率下限控制为 55% θ_r 时, 不同灌水方式下硝态氮离子浓度随生育期时间(取土时间)的变化基本上呈现递增趋势, 与 65% θ_r 下限时先降后增有所不同, 这说明此时根系对硝态氮离子的吸收有所减低。值得注意的是: 在这种含水率水平下交替灌水和全面积均匀灌水处理的冬小麦对硝态氮的吸收能力非常接近, 因为这两种灌水方式下, 土壤中硝态氮的变化曲线几乎一致。同样, 在此土壤含水率水平下, 固定灌水处理的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度变化相对也比较平缓。这充分说明, 在对土壤中硝态氮的吸收方面, 控制 1/2 区域交替灌水和全面积均匀灌水的效果是一样的, 且都比固定部分区域灌水的情况好。在 55% θ_r 下限时硝态氮的浓度在土壤垂直剖面上的分布 3 个处理间也有明显的差异, 仍然是全面积灌水的处理中下部的硝态氮浓度较高, 但其程度明显小于 65% θ_r 下限水平的。

2.6 不同灌水方式对土壤中 H_2PO_4^- 离子浓度的影响

由于土壤磷本身要稳定得多, 不像 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 那样易于发生化学变化而发生质变。这就决定了土壤中有效磷的含量必然会随着作物对磷的吸收而

率下限间无明显差异。

3 结论与讨论

1) 在同一灌水方式中, 土壤含水率下限小的根冠比大, 且根系总的干重也大。

2) CRD I 通过对根系的干、湿交替锻炼, 对根系生长产生促进作用, 同时固定与控制 $1/2$ 区域灌水相比, 能使根系在土壤中均匀分布, 且根长密度较对照大。

3) 控制土壤含水率下限为 $55\% \theta_r$ 的交替灌与控制土壤含水率下限为 $65\% \theta_r$ 的交替灌相比, 其干物质质量降低 14% , 而耗水量却下降 35% , 节水效果明显。

4) 冬小麦根系对土壤中养分的吸收规律表现为: 灌水方式相同, 土壤含水率下限不同时, 含水率下限为 $65\% \theta_r$ 的处理其土壤中 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ \text{N}$ 和 H_2PO_4^- 离子浓度普遍低于土壤含水率下限为 $55\% \theta_r$ 时的水平, 说明土壤含水率较高有利于冬小麦根系对土壤中离子态养分的吸收; 土壤含水率下限相同时, 3 种不同的灌水方式中, 土壤中 H_2PO_4^- 和 $\text{NH}_4^+ \text{N}$ 离子浓度无论在生育期内还是在土壤垂直剖面上整体地均呈现出递减的趋势, 而土壤中 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 离子浓度却呈现出明显的递增趋势。不同的灌水方式也存在一定的差异性, CRD I 在一定的土壤含水率下对养分离子的吸收优于其它两种灌水方式。

[参 考 文 献]

- [1] 康绍忠, 张建华, 梁宗锁, 等. 控制性交替灌溉——一种新的农田节水调控思路[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(1): 1-6
- [2] 梁宗锁, 康绍忠, 胡 炜, 等. 控制性分根交替灌水节水效应[J]. 农业工程学报, 1997, 13(4): 58-64
- [3] Kang Shaozhong, Liang Zongsuo, Hu Wei, et al. Water use efficiency of controlled alternate irrigation on root-divided maize plants [J]. Agricultural Water Management, 1998, 38: 69-76
- [4] Kang Shaozhong, Zhang Jianhua. Controlled alternate partial rootzone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency [J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55: 2437-2446
- [5] 康绍忠, 潘英华, 石培泽, 等. 控制性作物根系分区交替灌溉的理论与试验[J]. 水利学报, 2001, (11): 83-89
- [6] 梁宗锁, 康绍忠, 张建华, 等. 控制性分根交替灌水对作物水分利用率的影响及节水效应[J]. 中国农业科学, 1998, 31(5): 88-90
- [7] Benjamin J G, Porter L K, Duke H R, et al. Nitrogen movement with furrow irrigation method and fertilizer band placement[J]. Soil Sci Soc Am J, 1998, 62(4): 1103-1108
- [8] Lehrs G A, Sojka R E, Westermann D T. Nitrogen placement, row spacing, and furrow irrigation water positioning effects on corn yield [J]. Agron J, 2000, 92(6): 1266-1275
- [9] Skinner R H, Hanson J D, Benjamin J G. Nitrogen uptakes and partitioning under alternate-and every-furrow irrigation[J]. Plant Soil, 1999, 210: 11-20
- [10] Skinner R H, Hanson J D, Benjamin J G. Root distribution following spatial of water and nitrogen supply in furrow irrigated corn[J]. Plant and Soil, 1998, 199: 187-194
- [11] 韩艳丽, 康绍忠. 控制性分根交替灌溉对玉米养分吸收的影响[J]. 灌溉排水, 2001, 20(2): 5-7
- [12] 高明霞, 王国栋, 胡田田, 等. 不同灌溉方式下萎土玉米根际硝态氮的分布[J]. 西北植物学报, 2004, (5): 127-131

Impacts of the controlled roots-divided alternative irrigation on water and nutrient use of winter wheat

Li Zhijun¹, Zhang Fucang¹, Kang Shaozhong^{1,2}

(1. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China;

2. Center for Agricultural Water Research in China, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Impacts of three-irrigation methods, i.e., all soil area irrigation (CK), the controlled roots-divided alternative irrigation (CRD I) and fixed half of root area irrigation on water and nutrient use of winter wheat were studied with the potted method. Results showed that there were a big root-canopy ratio and dry weight when the lower limit of controlled soil water content decreased at the same irrigation treatment. There were an obvious improving role for winter wheat root system growth with CRD I irrigation, representation of well-distributed root in soil and a large root density. When the lower limit of soil moisture changed from 65% field capacity to 55% field capacity, water consumption dropped by 35% , which showed an remarkable water-saving effect. Analysis of the nutrient uptake of winter wheat with different irrigation methods shows that the high soil water content benefits nutrient absorption by winter wheat. At the same lower limit of soil water content, there were decrease trends of soil H_2PO_4^- and $\text{NH}_4^+ \text{N}$ concentration within growth period and soil profile under different irrigation methods, but $\text{NO}_3^- \text{N}$ concentration was in increase trend. The nutrient uptake of winter wheat with CRD I was more than those by other irrigation methods at the same soil water content.

Key words: controlled roots-divided alternative irrigation (CRD I); water and nutrient use; winter wheat