

不同氮磷营养条件下苗期水分亏缺对玉米生长及水分利用的影响

岳文俊, 张富仓, 李志军, 索岩松

(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: 利用盆栽, 以玉米兴民一338 为试验材料, 采用随机区组设计了 3 个氮磷水平和 4 个水分亏缺处理, 研究不同水分亏缺和氮磷营养对玉米生长、干物质累积及水分利用效率的影响。试验表明: 在氮磷营养相同情况下, 玉米苗期轻度亏水对玉米干物质累积有显著的补偿效应, 水分利用效率也有很大的提高。和不亏水(CK)相比较, 苗期轻度亏水处理, 复水 21 天后, 在 N_0P_0 、 N_1P_1 、 N_2P_2 三种施肥处理条件下玉米干物质总量分别增加了 21.84%、22.22%、19.50%, 中度和重度亏水则显著影响干物质累积。在亏水条件相同时, 施用氮磷不同用量也对玉米的生长和发育有一定的影响。研究表明, 在试验的土壤条件下, 苗期轻度亏水和氮磷施用量为 0.1 gN/kg 土、 $0.05\text{ P}_2\text{O}_5\text{ g/kg}$ 土的组合处理最有利于玉米的生长和水分利用效率的提高。

关键词: 玉米; 苗期; 轻度亏水; 氮; 磷; 干物质累积; 水分利用效率

中图分类号: S513.01; Q945.78 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)06-0001-06

我国每年约有 667 万 hm^2 灌溉面积因干旱少产粮食 $700\sim 800\text{ 亿 kg}$ ^[1]。据估计, 在影响作物生产力的诸多因子中, 水分不足造成的危害超过了其它一切逆境因子的总和^[2,3]。水分和养分是限制干旱半干旱地区作物生产的主要因素。因此, 如何有效地利用有限的降水资源, 提高作物水分利用效率, 最大限度地发掘旱地农业节水生产潜力, 并从多方面探讨各种有效途径和措施, 成为提高旱地农田生产力水平的关键^[4,5]。通过提高作物抗逆性和节约水分、养分资源来增加粮食产量已成为我国农业可持续发展的必然趋势^[6]。近些年来较多的研究表明, 在作物的某些生育期进行亏水灌溉, 不仅提高了作物水分利用效率, 而且对调节作物光合同化产物向不同组织器官的分配, 促进根系生长以及提高产量和品质都有一定的促进作用^[7~10]。植物早期生长的中心是根系, 因此在玉米苗期可以通过“蹲苗”的方法促进根系发育, 进而解决地上部与地下部的生长矛盾, 使其早生根、深扎根, 使幼苗蹲实粗壮, 加强后期抗旱和抗倒伏的能力, 为丰产丰收打下一个良好的基础。水分亏缺是田间条件下存在最广泛的一种作物生长逆境因子, 了解作物对该逆境的响应机制, 是对作物进行合理调控、实现农业节水的前提^[11]。怎样在调亏灌溉条件下合理施用氮磷肥, 研究水分和氮磷肥对作物生长的耦合效应, 是当前肥

水利用研究的热点之一。调亏灌溉和施氮在玉米上的耦合效应研究报道较多, 但调亏灌溉条件下不同氮磷营养对玉米的生长和水分利用的影响较少, 本文以不亏水处理为对照, 研究了在不同氮磷营养条件下苗期不同程度的水分亏缺对玉米生长、干物质累积以及水分利用效率的影响。为提高玉米氮磷与水分利用率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2010 年在西北农林科技大学节水灌溉试验站遮雨棚内进行, 土壤为杨凌塬土取耕作层以下 $20\sim 40\text{ cm}$ 的土层, 经风干、碾碎过 5 mm 筛。装土体积为 1.3 g/cm^3 。土壤的基本理化参数为: pH 8.15, 有机质 5.03 g/kg , 全氮 0.75 g/kg , 速效磷 3.4 mg/kg , 硝态氮 2.91 mg/kg , 铵态氮 5.34 mg/kg , 田间持水率 24% 。

盆栽盆为塑料盆, 盆上部内径 29 cm 、底部内径 21.5 cm 、高 29 cm , 桶底部各打 8 个小孔以保持下层土壤的通气性。每桶装风干土 15 kg , 初始含水量是 2% 。装土之前在桶底铺 3 cm 厚的砂层作为过滤层以防盆底滞水, 两侧各插一根半径为 1 cm 的 PVC 管子, 每根管子隔一定距离打一个孔便于灌水, 并用窗纱包裹以防土壤堵塞出水孔。此试验设水分和肥料

(氮肥和磷肥)2 个因素:玉米苗期水分处理设 4 个水平即不亏水(CK)、轻度亏水、中度亏水和重度亏水,其分别占田间持水量的 75%~85%、65%~75%、55%~65%、45%~55%;设 3 个氮磷肥水平分别为 N_0P_0 (不施氮磷), N_1P_1 (纯氮 0.1 g/kg、 P_2O_5 0.05 g/kg), N_2P_2 (纯氮 0.3 g/kg、 P_2O_5 0.15 g/kg)。氮肥和磷肥分别用尿素(含 N46%)和过磷酸钙(含 P_2O_5 15%)。氮肥和磷肥于 2010 年 6 月 30 日浇水时倒入水中通过两个 PVC 管子注入土层中。试验共 12 个处理,重复 3 次。玉米品种为兴民一 338, 2010 年 6 月 21 日播种,播前对种子进行精选,以保证纯度和出苗整齐。每盆内留两颗长势均匀的植株,6 月 27 日到 8 月 5 日进行水分胁迫处理,于 8 月 6 日各个处理都复水至田间持水量的 75%~85% (不亏水)一直持续到玉米成熟。土壤含水量严格控制在设定的范围内。

1.2 测定项目和方法

在复水前 2 天(8 月 4 日),复水后 8 天(8 月 14 日)和复水后 13 天(8 月 19 日)用直尺测定玉米的株高、叶面积(长宽叶面积系数 0.75),每株所有叶片叶面积之和就是单株叶面积。土壤含水量用称重的方式进行测定,以确定灌水量和灌水时间,当水分下降到设定含水量的下限时再加水至上限,使含水量控制在设定范围内。在复水前 2 天(8 月 4 日),复水后 8 天(8 月 14 日)用 Li-6400 便携式光合测定仪测定叶片的光合生理指标 P_n , T_r ($WUE = P_n / T_r$), 复水前 1 天(8 月 5 日)和复水后 21 天(8 月 27 日)分别破坏性取样测定玉米地上部、地下部干物质。统计数据采用 DPS 软件,多重比较采用 Duncan 法。

2 结果与分析

2.1 苗期水分亏缺、复水和氮磷营养对玉米株高和叶面积的影响

表 1 为玉米苗期不同水分亏缺处理和氮磷营养对株高和叶面积的影响。由表 1 可以看出,在相同氮磷营养条件下,与 CK 比较,玉米苗期(复水前 2 天)轻度亏水、中度亏水和重度亏水处理对苗期的株高都有极显著的影响,且影响的程度都随着水分胁迫的加重而呈增大趋势。相比较而言,轻度亏水、中度亏水对苗期株高的影响程度没有明显的差异,但重度亏水影响较大。与 CK 比较,玉米苗期(复水前 2 天)轻度亏水、中度亏水和重度亏水处理在 N_0P_0 、 N_1P_1 、 N_2P_2 三种施肥处理条件下的株高分别降低了 5.83%、15.95%、11.3%, 6.42%、17.54%、12.43%

和 13.85%、26.84%、20.87%。在同一水分处理条件下,三种氮磷肥水平对玉米苗期株高的影响不同且因亏水处理的不同而有很大的差异。苗期不亏水处理(复水前 2 天)三种氮磷肥水平的株高呈显著差异,且表现为 $N_1P_1 > N_2P_2 > N_0P_0$;但轻度亏水、中度亏水条件下三种氮磷肥水平的株高虽呈相同的趋势变化,但差异不显著,重度亏水处理三种氮磷肥水平的株高没有显著的变化。

复水 8 天后,各个处理的株高都明显增加,在氮磷营养相同时,苗期轻度亏水处理最高, N_0P_0 、 N_1P_1 、 N_2P_2 处理的株高在复水后 8 天与 CK 相比较分别增加了 0.83%、7.76%、7.77%;复水 13 天后与 CK 比较分别增加了 1.73%、6.57%、4.15%,出现了超补偿效应。而中度和重度处理的株高始终低于不亏水处理。由此可见,玉米经过苗期轻度亏水后复水对其日后的生长有促进作用。从表 1 中,我们还可以得知,在水分处理相同时, N_1P_1 下的肥处理有利于玉米生长。

由表 1 也可以看出,在相同氮磷营养条件下,苗期水分亏缺对叶面积的影响程度也达到极显著水平。苗期水分亏缺与施肥水平之间的交互作用对玉米叶面积的影响也十分明显。在玉米苗期水分亏缺期间,相同氮磷肥条件下,玉米叶面积随着水分亏缺的加重而呈减少趋势,即不亏水 > 轻度缺水 > 中度缺水 > 重度缺水。表明水分直接影响着玉米叶片的生长发育。与 CK 相比,玉米苗期(复水前 2 天)轻度亏水、中度亏水和重度亏水处理在 N_0P_0 、 N_1P_1 、 N_2P_2 三种施肥处理条件下的叶面积分别降低了 21.32%、15.97%、13.77%, 36.66%、42.15%、42.85%和 41.47%、45.32%、44.25%,但是随着复水时间的推移与 CK 相比,苗期轻度缺水处理的叶面积在复水后 8 d,其 N_0P_0 处理减少了 15.17%, N_1P_1 处理减少了 12.53%, N_2P_2 处理减少了 11.20%,叶面积的相对增长率明显大于对照,出现了补偿效应。而复水后 13 d,其 N_0P_0 处理减少了 14.99%, N_1P_1 处理和 N_2P_2 处理则分别减少了 8.06%和 10.79%。说明玉米苗期经轻度缺水处理后复水可以促进玉米叶片的补偿生长。出现这种现象的原因可能是玉米苗期轻度缺水后恢复至 CK 时,其叶片扩展受到激发,使叶面积接近 CK,从而弥补了前期干旱所造成的损失^[12]。但玉米在苗期经重度缺水处理后复水,叶片的生长受到了抑制,可能是由于在苗期叶片发育受到严重抑制,叶片扩展完全停止,这与以往的结果是一致的^[13]。

表 1 苗期水分亏缺、复水和氮磷营养对玉米株高和叶面积的影响

Table 1 Effect of water deficit during seedling stage, rewatering and N and P nutrition on plant height and leaf area of maize							
水分亏缺 Water deficit	氮磷水平 Fertilization level	复水前 2 d 2 d before rewatering		复水后 8 d 8 d after rewatering		复水后 13 d 13 d after rewatering	
		株高 (cm) Plant height	叶面积 (cm ²) Leaf area	株高 (cm) Plant height	叶面积 (cm ²) Leaf area	株高 (cm) Plant height	叶面积 (cm ²) Leaf area
不亏水 CK	N ₀ P ₀	91.89 _c	969.70 _d	113.13 _c	1731.33 _d	121.47 _{ab}	2540 _d
	N ₁ P ₁	108.39 _a	1253.06 _a	114.89 _{abc}	2332.89 _a	121.33 _{ab}	3087.80 _a
	N ₂ P ₂	100.14 _b	1145.36 _b	114.07 _{bc}	2176.26 _b	121.43 _{ab}	2946.63 _b
轻度亏水 Slight water deficit	N ₀ P ₀	86.53 _{de}	763.00 _e	118.83 _{abc}	1468.76 _e	123.57 _a	2159.20 _f
	N ₁ P ₁	91.10 _{cd}	1052.90 _c	123.80 _a	2240.63 _b	129.3 _a	2839 _c
	N ₂ P ₂	88.82 _{cde}	987.60 _d	122.93 _{ab}	1892.70 _c	126.47 _a	2328.80 _e
中度亏水 Medium water deficit	N ₀ P ₀	85.99 _e	614.25 _{hi}	103.03 _d	1486.79 _{fg}	113.37 _{bc}	1868.48 _h
	N ₁ P ₁	89.38 _{cde}	724.93 _{ef}	100.37 _d	1726.29 _d	111.6 _c	2185.93 _f
	N ₂ P ₂	87.69 _{cde}	654.53 _{gh}	101.73 _d	1573.56 _e	112.5 _c	2038.96 _g
重度亏水 Severe water deficit	N ₀ P ₀	79.16 _f	567.52 _i	99.93 _d	1218.20 _h	107.5 _c	1510.86 _i
	N ₁ P ₁	79.30 _f	685.23 _{fg}	97.34 _d	1446.40 _g	108.13 _c	1886.60 _h
	N ₂ P ₂	79.24 _f	638.53 _{gh}	98.67 _d	1545.20 _{ef}	107.83 _c	1938.76 _h
显著性检验 (F 值) Significant level (F value)							
施肥水平 Fertilization		25.63 * *	121.15 * *	0.046	452.51 * *	0.476	216.994 * *
水分亏缺 Water deficit		131.85 * *	481.02 * *	51.14 * *	540.59 * *	81.415 * *	623.711 * *
水分亏缺×施肥水平 Water deficit × Fertilization		10.753 * *	8.87 * *	0.498	45.274 * *	0.385	15.866 * *

注:表中的数值为三个重复的平均值,同一列数据后小写字母不同表明处理之间差异显著($P<0.05$),如果字母相同,则表明各个处理之间差异不显著($P>0.05$)。符号*表示差异显著,**表示差异极显著,下同。

Note: The data in table are the average of 3 repeated experiments, different small letters in the same column mean significant difference among treatments at 0.05 level. The same small letters in the same column show that difference is not apparent ($P>0.05$). * indicates significant, and * * means very significant. They are the same as below.

2.2 苗期水分亏缺、复水和氮磷营养对干物质积累的影响

表 2 为玉米苗期不同水分亏缺处理和氮磷营养对玉米干物质累积的影响。干物质是由光合作用产生的,它对玉米产量起着关键性的作用。由表 2 可知,在施用相同氮磷肥时,玉米苗期水分亏缺处理对其地上部、地下部干重及干物质总量的积累达极显著水平,说明水分直接影响着玉米干物质的生产与积累,且随着水分胁迫的加剧干物质累积呈下降的趋势,与 CK 相比,玉米苗期(复水前 1 天)轻度亏水、中度亏水和重度亏水处理在 N₀P₀、N₁P₁、N₂P₂ 三种施肥处理条件下的干物质总量分别降低了 1.21%、5.33%、4.94%、9.72%、16.61%、12.17%和 24.7%、27.27%、26.99%,但是根冠比在增加,除了重度亏水小于 CK 外,其余均高于对照,说明受到水分亏缺处理的玉米根系的生长大于冠部的生长,由于水分亏缺使得有限的水分和营养向根系运输,促进根系的生长,增强抵御干旱的能力,为加强后期调

节和补偿能力创造了条件^[14]。在相同水分处理情况下,玉米干物质总的累积量(复水前 1 天)变化趋势:低氮低磷>高氮高磷>无氮无磷,在不亏水处理条件下,三种氮、磷肥水平之间差异显著。在轻度、中度和重度条件下,无氮无磷和高氮高磷之间差异不显著。这说明过量施肥反而不利于作物生长。

从表 2 还可以看出,经过 21 d 的复水处理后,在施用相同氮磷肥的条件下,植株体地上部、地下干重以及干物质总量以苗期轻度缺水为最多,其次是不亏水处理,而苗期重度缺水最低。这一结果表明,玉米苗期轻度缺水处理后有利于地上部、地下部干重及干物质总量的累积。其原因可能是作物遭受水分胁迫时,促进了根系生长,进而使根系吸水 and 吸收养分能力加强,植株的光合作用增大,提高了干物质生产水平^[10]。和 CK 相比较,苗期轻度亏水时, N₀P₀、N₁P₁ 和 N₂P₂ 处理的玉米干物质总量分别增加了 21.84%、22.22%、19.50%。从上面现象我们可以看出:玉米在苗期经过轻度缺水处理复水后对玉

米干物质累积以及后期产量的提高非常有利。但是为在重度亏水情况下玉米正常生长发育受到抑制。苗期重度亏水处理干物质明显低于 CK，这主要是因

表 2 苗期水分亏缺、复水和氮磷营养对玉米干物质累积的影响(g/株)

Table 2 Effect of water deficit during seedling stage, rewaterring and N and P nutrition on dry matter accumulation of maize

水分亏缺 Water deficit	施肥水平 Fertilization level	复水前 1 天 1day before rewaterring			复水后 21 天 21day before rewaterring		
		地上部干重 Shoot dry weight	地下部干重 Root dry weight	干物质总量 Total dry weight	地上部干重 Shoot dry weight	地下部干重 Root dry weight	干物质总量 Total dry weight
不亏水 CK	N0P0	1.95d	0.52def	2.47d	11.21f	4.78d	15.98g
	N1P1	2.53a	0.67a	3.19a	20.05c	7.61bc	27.67c
	N2P2	2.08c	0.56de	2.63c	19.85c	5.39d	25.24d
轻度亏水 Slight water deficit	N0P0	1.85ef	0.54def	2.44d	12.21f	7.26bc	19.47f
	N1P1	2.37b	0.65ab	3.02b	24.26a	9.56a	33.82a
	N2P2	1.93de	0.57cd	2.5d	22.24b	7.92b	30.16b
中度亏水 Medium water deficit	N0P0	1.73g	0.51ef	2.23e	8.78g	3.73e	12.51h
	N1P1	2.05c	0.61bc	2.66c	14.1e	5.10d	19.20f
	N2P2	1.8fg	0.51ef	2.31e	19.55c	6.95c	26.50cd
重度亏水 Severe water deficit	N0P0	1.49h	0.37g	1.86f	7.85g	3.40e	11.25h
	N1P1	1.84f	0.5f	2.32e	11.48f	3.99e	15.46g
	N2P2	1.57h	0.35g	1.92f	17.51d	5.12d	22.63e
显著性检验 (F 值) Significant level (F value)							
施肥水平 Fertilization		273.17**	62.84**	202.66**	782.00**	64.06**	483.98**
水分亏缺 Water deficit		218.84**	76.83**	189.23**	231.20**	153.17**	239.24**
水分亏缺×施肥水平 Water deficit×Fertilization		6.01**	1.059	3.00*	38.84**	18.78**	33.68*

2.3 苗期水分亏缺、复水和氮磷营养对叶片生理特性和水分利用的影响

表 3 为玉米苗期不同水分亏缺处理和氮磷营养对玉米叶片生理特征和水分利用效率的影响。光合作用是植物体生长所需要的能量和干物质累积形成的重要生理过程，它对土壤水分反应十分敏感。玉米苗期进行水分亏缺处理，在相同氮磷营养条件下，复水前 2 天玉米光合速率趋势为：不亏水>轻度>中度>重度，表明水分胁迫处理使得光合速率降低，与 CK 相比，玉米苗期(复水前 2 天)轻度亏水、中度亏水和重度亏水处理在 N0P0、N1P1、N2P2 三种施肥处理条件下的光合速率分别降低了 16.73%、10.91%、9.02%，29.54%、20.51%、24.74% 和 41.65%、30.14%、31.8%。同时蒸腾速率也随着胁迫的加剧而减少，而水分利用效率却在增大。说明在水分胁迫下，蒸腾作用对玉米叶片气孔开度的依赖程度大于光合作用，蒸腾作用超前于光合作用的下降^[15]，这是植物体适应干旱的本能。而在复水 8 天后，胁迫处理下的玉米叶片光合速率与 CK 相比较都有了明显的提升，玉米经过苗期轻度亏水处理后复水，光

合速率超过了苗期不亏水处理，水分利用效率大于 CK、中度和重度水分处理，出现了超补偿效应。在中度和重度水分胁迫后复水，虽然光合速率有一定补偿，但是补偿能力有限。表明玉米苗期在适度水分胁迫下能促进后续叶片的生理补偿，所以通过合理控制土壤水分条件可以提高作物光合速率。

3 结论与讨论

研究表明，在特定发育阶段，有限的水分胁迫对提高产量和品质是有益的，其表现为作物在某些阶段经受适度的水分胁迫，对于有限缺水具有一定的适应性和抵抗性效应，并且植物在水分胁迫解除后，会表现出一定的补偿生长功能^[7]。本试验研究发现，玉米苗期轻度亏水对其后期的干物质累积有显著的增加效应。苗期水分亏缺抑制了玉米株高、叶面积的生长和干物质的累积，抑制程度与水分亏缺程度有关，而根冠比相应有所提高，复水后补偿效应明显，尤其在苗期轻度亏水条件下后复水，水分利用效率明显提高，出现了超补偿效应，这说明在供水充分的情况下，有奢侈的蒸腾耗水，适当的水分亏缺能

够减少气孔开度而对光合作用影响不大,这样可以大大地降低蒸腾耗水。苗期轻度亏水对玉米的生长有一定的抑制作用,但复水后补偿效应明显,因此可以进行适当的亏水^[16]。在相同水分亏缺下,施用低氮低磷肥有利于提高玉米干物质累积和水分利用效率,这可能与土壤中的氮磷元素含量以及玉米吸收的氮磷配比有关,玉米根部为了吸收更多的养分而向深处发展,施入的氮磷肥过多时反而抑制了根系

的生长,无氮无磷处理下的玉米植株由于缺乏氮磷元素导致基部老叶发黄、茎短而细,出现早衰现象。此试验在不亏水(CK)条件下,N₂P₂ 处理下玉米的株高、叶面积、地上地下干物质量及光合速率都低于N₁P₁ 处理,这可能是由于盆内氮磷肥施用过多,使得土壤溶液浓度过高,土壤板结加重,渗透阻力增大,根系吸水困难,导致盆内玉米根系生长不良,叶片出现萎蔫。即传统上说的“烧苗”现象。

表 3 苗期水分亏缺、复水和氮磷营养对玉米叶片生理特性和水分利用的影响

Table 3 Effect of water deficit during seeding period, rewatering and N and P nutrition on physiological property and WUE of maize

水分亏缺 Water deficit	施肥水平 Fertilization level	复水前 2 天 2day before rewatering			复水后 8 天 8day before rewatering		
		净光合速率 P_n [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	蒸腾速率 T_r [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	水分利用效率 WUE ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)	净光合速率 P_n [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	蒸腾速率 T_r [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	水分利用效率 WUE ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)
不亏水 CK	N ₀ P ₀	30.06 _c	7.44 _b	4.04 _i	27.57 _f	4.75 _i	5.80 _c
	N ₁ P ₁	32.52 _a	7.46 _a	4.36 _d	30.52 _b	6.13 _a	4.98 _f
	N ₂ P ₂	30.72 _b	6.83 _c	4.50 _b	28.57 _d	5.66 _d	5.05 _e
轻度亏水 Slight water deficit	N ₀ P ₀	25.03 _g	5.57 _g	4.49 _b	28.44 _e	4.03 _k	7.06 _a
	N ₁ P ₁	28.97 _d	6.57 _d	4.41 _c	32.77 _a	5.77 _c	5.68 _d
	N ₂ P ₂	27.95 _e	6.16 _e	4.54 _a	30.24 _c	4.96 _g	6.09 _b
中度亏水 Medium water deficit	N ₀ P ₀	21.18 _j	4.95 _j	4.28 _e	22.12 _k	5.54 _e	3.99 _j
	N ₁ P ₁	25.85 _f	6.16 _e	4.19 _g	26.97 _g	5.95 _b	4.53 _h
	N ₂ P ₂	23.12 _h	5.43 _h	4.25 _f	24.34 _i	5.45 _f	4.47 _i
重度亏水 Severe water deficit	N ₀ P ₀	17.54 _L	4.56 _k	3.85 _k	20.62 _L	4.65 _j	4.43 _i
	N ₁ P ₁	22.72 _i	5.75 _f	3.95 _j	25.16 _h	5.64 _d	4.46 _i
	N ₂ P ₂	20.95 _k	5.08 _i	4.13 _h	22.35 _j	4.86 _h	4.60 _g
显著性检验(F 值) Significant level(F value)							
施肥水平 Fertilization		47900.08 **	20104.12 **	2185.09 **	67124.15 **	9105.14 **	975.56 **
水分亏缺 Water deficit		188412.30 **	65500.03 **	7692.89 **	152605.04 **	2610.35 **	13232.30 **
水分亏缺×施肥水平 Water deficit×Fertilization		1630.38 **	2873.37 **	866.85 **	697.37 **	727.63 **	1177.05 **

梁银丽等^[17]研究表明:土壤水分亏缺,首先影响了根系对水分的吸收,从而减少了对地上部的营养物质供应,使地上部生长受到抑制。氮、磷是植物生长必须的营养元素,它们能够促进植物茎、根、叶的生长。增施氮、磷肥,能够增加土壤中碱解氮、速效磷的供应浓度,促进根系的生长发育,有利于植株对养分的吸收、转化及向穗轴、子粒的输送,促进灌浆中后期子粒氮素、磷素积累^[18]。土壤缺氮缺磷,根系吸收的氮磷营养减少,供给地上部的氮磷量会显著降低,也会影响地上部的正常生长。本次试验研究表明:土壤水分亏缺严重时,植物蒸发蒸腾量以及光合速率显著降低,根系生长严重受阻,根干重降低;随着复水时间的推移,土壤水分状况趋于良好,

根干重在低氮低磷条件下时最大,而在无氮无磷和高氮高磷营养条件下玉米根系生长具有明显的抑制作用。作物生长不仅与水分和氮磷元素有很大关系,而且与环境条件有关。本试验是在盆栽条件下完成的,在大田中不同水分条件下氮磷营养的玉米试验结论还需要深入研究。

参 考 文 献:

[1] 李原圆,李英能,苏人琼,等. 中国农业水危机及其对策[R]. 北京:中国国家科学技术委员会农村科技司,1997:52—54.
[2] Saini H S, Westgate M E. Reproductive development in grain crops during drought[J]. Advances in Agronomy, 2000,68:59—66.
[3] 卜庆雁,周晏起. 果树抗旱性研究进展[J]. 北方果树,2001,(6):1—3

- [4] 曹 靖, 胡恒觉. 不同肥料组合对冬小麦水分供需状况的研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(5): 713—717.
- [5] 张仁陟, 李小刚, 胡恒觉. 施肥对提高旱地农田水分利用效率的机理[A]// 李生秀. 土壤—植物营养研究文集[C]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1999: 574—578.
- [6] 祁有玲, 张富仓, 李开峰. 水分亏缺和施氮对冬小麦生长及氮素吸收的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(10): 2399—2405.
- [7] 山 仑, 徐 萌. 节水农业及其生理生态基础[J]. 应用生态学报, 1991, 2(1): 70—76.
- [8] 山 仑. 植物水分利用效率和半干旱地区农业用水[J]. 植物生理学通讯, 1994, 30(1): 61—66.
- [9] 梁宗锁, 康绍忠, 张建华, 等. 控制性分根交替灌水对水分利用效率的影响及节水效应[J]. 中国农业科学, 1998, 31(5): 88—90.
- [10] 李严坤, 张忠学, 仲 爽, 等. 水肥处理对玉米叶片水分利用效率及其光合特性的影响[J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(10): 15—19.
- [11] 张寄阳, 刘祖贵, 段爱旺, 等. 棉花对水分胁迫及复水的生理生态响应[J]. 棉花学报, 2006, 18(6): 398—399.
- [12] 陈晓远, 罗远培. 不同生育期复水对受旱冬小麦的补偿效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(1): 35—37.
- [13] 刘晓英, 罗远培, 石元春. 水分胁迫后复水对冬小麦叶面积的激发作用[J]. 中国农业科学, 2001, 34(4): 422—428.
- [14] 王密侠, 康绍忠, 蔡焕杰, 等. 调亏对玉米生态特性及产量的影响[J]. 西北农业大学学报, 2000, 28(1): 31—36.
- [15] 张光灿, 刘 霞, 贺康宁, 等. 金矮生苹果叶片气体交换参数对土壤水分的响应[J]. 植物生态学报, 2004, 28(1): 66—72.
- [16] 邢英英, 张富仓, 王秀康. 不同生育期水分亏缺灌溉和氮营养对玉米生长的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(6): 1—6.
- [17] 梁银丽. 土壤水分和氮磷营养对冬小麦根系生长及水分利用的调节[J]. 生态学报, 1996, 16(3): 258—264.
- [18] 胡昌浩. 玉米栽培生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 24—27.

Effect of water deficit during seedling stage on growth and water use of maize on the condition of different N and P nutrition

YUE Wen-jun, ZHANG Fu-cang, LI Zhi-jun, SUO Yan-song

(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: An experiment in pots was carried out to study the effect of water deficit during the seedling stage on growth, dry matter accumulation and water use efficiency of maize named Xingmin—338 on the condition of different N and P by providing three nitrogen phosphor levels and four water deficit treatments. The results showed that in the same application of N and P nutrition, slight water deficit during the seedling stage had marked compensation effect on dry matter accumulation and improved water use efficiency of maize. Compared with CK, dry matter accumulation of maize was increased by 21.84%, 22.22% and 19.50% respectively 21 days after rewatering and with the three treatments of N_0P_0 , N_1P_1 and N_2P_2 . Medium water deficit and serious water deficit during the seedling stage reduced dry matter accumulation. In the same water deficit, low N and P fertilizer application was beneficial for maize growth and development. Therefore, the pilot study found that slight water deficit plus low N and P levels during the seedling stage was an ideal water and fertilizer coupling.

Keywords: maize; seedling stage; nitrogen; phosphor; dry matter accumulation; water use efficiency