

干旱胁迫对冬小麦根系生长及营养代谢的影响

周苏玫¹, 马元喜², 王晨阳², 王化岑², 吕凤荣³

(1 河南农业大学 农学院, 河南 郑州 450002; 2 国家小麦工程技术中心, 河南 郑州 450002;

3 河南省农科院小麦研究所, 河南 郑州 450002)

摘要: 研究了不同程度土壤持续干旱对冬小麦根系生长及营养代谢的影响。结果表明, 干旱胁迫使小麦次生根发育迟缓, 数量减少, 根系发硬, 根尖萎缩, 拔节至扬花阶段对发根潜能的影响最大。根系干物质积累量减少, 峰值延后; 根系中氮、磷积累量下降, 分配比例在生育前中期下降, 后期上升, 干旱使后期较多的氮、磷滞留于根中, 向地上部运转减少, 中度以上干旱胁迫有较多的氮、磷损失; 根系中的含糖量下降, C/N 失调。维持根系对氮、磷良好吸收、分配、运转和 C/N 协调的土壤含水量不能低于 60%。

关键词: 干旱胁迫; 冬小麦; 根系; 生长; 营养代谢

中图分类号: S512 文献标识码: A 文章编号: 1000- 7091(2000) 02- 0057- 06

北方地区麦田水分亏缺是限制小麦生产的主要环境因子。多年来国内外学者围绕干旱条件下小麦植株形态和生理方面的研究做了大量工作。多数指出, 干旱造成植株生长缓慢, 根干重下降, 叶面积减少, 光合作用降低^[1~ 3], 植株体内养分减少, 最终导致减产^[4~ 5]。另有研究指出, 干旱引起植株生长缓慢的重要原因是降低了根系对无机养分的吸收^[6~ 7], 土壤的供水量与小麦地上部 N, P, K 养分携出量间均呈明显的正相关^[4]。根系自身营养代谢状况对植株的生长发育至关重要, 然而这方面研究却很少见报道。此外, 以往对根系形态的观察多采用盆栽冲根或挖土取根的方法, 不可避免造成人为因素的伤害。鉴于此, 我们采用盆栽、薄膜柱栽和侧面玻璃分层池栽相结合的方法, 系统自然观察和冲根取样结合研究整个生育期内不同程度的干旱胁迫对根系生长及营养代谢的影响, 探索干旱造成营养失调的原初性原因, 为麦田的水分和肥料管理提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验概况与设计

试验采用盆栽、柱栽和池栽相结合的方法, 在河南农业大学作物根系地下综合观察室内进行。供试小麦品种为豫麦 13 号。土壤为壤质潮土, 最大持水量为 24%, 有机质含量 17 g/kg, 全氮 0.9 g/kg, 碱解氮 60.8 mg/kg, 速效磷 13.24 mg/kg, 速效钾 78.0 mg/kg。盆栽试验采用高 26 cm、直径 25 cm 的聚乙烯桶, 装过筛混匀土 12 kg; 池栽试验采用薄膜土柱, 直径 15 cm、柱高 80 cm 放于地下根系观察室; 池栽试验采用 25 cm × 25 cm 的水泥池, 池深分别有 20, 40, 60,

收稿日期: 1999- 11- 08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目部分内容

作者简介: 周苏玫(1966-), 女, 讲师, 农学硕士, 主要从事作物栽培生理研究。

80, 100 和 200 cm, 一侧由玻璃密封便于观察。

试验设①土壤相对含水量(SRWC)控制在 75%(ck, T1 表示); ②60%(轻旱, T2); ③45%(中旱, T3); ④30%(重旱, T4)4 个处理。盆栽试验用称重法控制水分, 柱栽和池栽用烘干法控制, 完全随机排列, 2~ 4 次重复。各处理按有机肥 45 000 kg/hm², 纯氮 120 kg/hm², 五氧化二磷 75 kg/hm², 氧化钾 75 kg/hm² 进行施肥, 在遮雨条件下进行。其他管理同一般高产田。

1.2 测定项目及方法

植株含氮量测定采用半微量凯氏定氮法; 含磷量测定采用钒钼黄比色法; 可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法; 干物质积累量采用烘干法; 根尖、根长和外部形态采取一般常规观察法。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对根系生长的影响

2.1.1 次生根数的变化 干旱对次生根的发育影响很大(表 1)。越冬期 T2 次生根数的变化

表 1 干旱胁迫对单株次生根数的影响

处理	越冬期(12- 28)		拔节期(03- 17)		扬花期(04- 19)	
	次生根 (条/株)	比 T1 减少 (%)	次生根 (条/株)	比 T1 减少 (%)	次生根 (条/株)	比 T1 减少 (%)
T1	4.4	—	20.3	—	37.9	—
T2	4.1	6.8	17.1	15.8	31.9	15.8
T3	0.7	84.1	11.7	42.4	18.2	52.0
T4	0.3	93.2	10.5	47.8	12.5	67.0

较小, T3 和 T4 次生根的发育明显受阻(平均不到 1 条)。拔节后次生根发生和生长进入旺盛阶段, 至扬花期次生根发育已趋向稳定, 达最大值, 此时处理间差异很大, T2, T3 和 T4 分别比 T1 减少 15.8%, 52%, 67%。在此阶段内, T1 次生根数增加 17.6 条, 占次生根总条数 45.4%, T4 处理根条数只增加了 2 条, 几乎没有发根能力, 而且已发的次生根向下生长受阻, 根系变细发硬, 根尖萎缩。说明此阶段冬小麦对水分反应敏感, 干旱胁迫可使其发根潜能减弱, 是对次生根发生影响最大的时期, 应注意加强该阶段水分管理, 促进次生根发育。

2.1.2 根系干物质积累量的变化 由表 2 看出, 苗期根系干物质积累量较小, 处理间以 T2 最高, 在 T2 次生根数减少的情况下说明了苗期轻度干旱能促进根系生长。拔节后随着干旱

表 2 干旱胁迫下冬小麦根系干物质积累量的动态变化

处理	项 目	越冬期	拔节期	扬花期	灌浆初期	灌浆中期	成熟期
		(12- 28)	(03- 17)	(04- 19)	(05- 01)	(05- 09)	(05- 23)
T1	干物质积累量(g/株)	0.189	1.016	1.278	1.255	1.136	0.904
	占最大根量(%)	14.76	79.62	100.00	98.02	88.98	70.77
T2	干物质积累量(g/株)	0.211	0.714	0.846	1.064	0.897	0.764
	占最大根量(%)	19.89	67.12	79.49	100.00	84.31	71.80
T3	干物质积累量(g/株)	0.161	0.245	0.427	0.555	0.583	0.384
	占最大根量(%)	27.70	41.97	73.45	95.30	100.00	65.88
T4	干物质积累量(g/株)	0.149	0.219	0.364	0.402	0.424	0.261
	占最大根量(%)	35.22	51.70	85.95	95.16	100.00	53.76

胁迫程度的增加,干物质的积累量减少,以扬花期下降幅度最大,处理间的差异达到极显著水平。灌浆后根系衰老,干物重降低,干旱胁迫更加剧了这种衰老过程。在整个生育期内,根系干物质积累量的变化呈抛物曲线,T1 峰值在扬花期,T2 在灌浆初期,T3 和 T4 均在灌浆中期。干旱胁迫使根系干物质积累量下降、峰值延后、加速衰亡的变化过程,导致植株提前变黄死亡,灌浆期缩短,这是产量下降的重要原因。

2. 2 干旱胁迫对根系 N,P 代谢的影响

2. 2. 1 根系中 N,P 含量及其积累量的变化 干旱胁迫使根系中 N 含量增加(表 3),以扬花

表 3 干旱胁迫对根系含氮量及其积累量的影响

处理	越冬期(12- 28)		拔节期(03- 17)		扬花期(04- 19)		灌浆期(05- 09)		成熟期(05- 23)	
	含氮量 (g/kg)	积累量 (mg/株)	含氮量 (g/kg)	积累量 (mg/株)	含氮量 (g/kg)	积累量 (mg/株)	含氮量 (g/kg)	积累量 (mg/株)	含氮量 (g/kg)	积累量 (mg/株)
T1	28.11	5.30	14.71	14.96	10.75	13.74	10.32	11.73	10.26	9.27
T2	27.83	5.89	16.02	11.44	12.00	10.14	11.79	10.58	10.78	8.23
T3	28.00	4.52	18.04	4.41	14.20	6.08	13.53	7.8	11.96	4.59
T4	26.05	3.88	18.92	4.14	16.39	5.96	14.46	5.82	12.87	3.38
CV%	3.5	17.9	9.8	53.0	16.1	35.0	12.7	26.4	8.9	38.6

期增加幅度最大,T2,T3 和 T4 分别比 T1 增加 11.6%,32.1%,52.5%,这与同期干物质积累量减少的幅度相比,N 含量增加幅度相对较小,干物质积累量减少的幅度较大,说明干旱胁迫不仅影响了根系的生长发育,同时也抑制了根系对 N 的吸收。根系中 N 积累量下降,而且出现中度以上干旱胁迫 N 积累峰值延后现象。

根系 P 含量及其积累量的变化与 N 不尽相同(表 4)。各个生育时期随着干旱胁迫程度的

表 4 干旱胁迫对根系含磷量及其积累量的影响

处理	越冬期(12- 28)		拔节期(03- 17)		扬花期(04- 19)		灌浆期(05- 09)		成熟期(05- 23)	
	含磷量 (g/kg)	积累量 (mg/株)	含磷量 (g/kg)	积累量 (mg/株)	含磷量 (g/kg)	积累量 (mg/株)	含磷量 (g/kg)	积累量 (mg/株)	含磷量 (g/kg)	积累量 (mg/株)
T1	3.53	0.66	2.04	2.08	1.35	1.72	2.02	2.30	1.02	0.92
T2	3.34	0.71	1.99	1.42	1.34	1.13	1.36	1.22	1.01	0.77
T3	3.53	0.57	2.17	0.53	1.51	0.65	1.53	0.89	1.31	0.50
T4	3.12	0.47	2.01	0.44	1.82	0.66	1.89	0.76	1.41	0.37

增加,P 含量有增大的趋势,但变幅较小。说明干旱对根系 P 的吸收利用的影响比对 N 的大。根中 P 积累量的变化趋势呈现阶段性起伏,正常水分供应时在拔节期和灌浆期出现峰值,这与 P 在植株体内参与碳水化合物的合成与运输有关。干旱胁迫使 P 的积累量大大下降,且中度以上干旱胁迫在拔节期峰区消失。

2. 2. 2 根系中 N,P 养分的分配变化 T1 和 T2 根中 N 素分配比例随生育时期推进呈明显下降趋势(图 1),T3 和 T4 在越冬期所占比例较高,拔节后基本没有变化,表现出干旱胁迫使根中 N 素的分配比例在开花期以前下降,灌浆至成熟阶段上升。根中 P 分配变化趋势与 N 稍有不同(图 2),表现在灌浆期根中分配量增加,而后又迅速下降,干旱胁迫仍使前中期根中 P 素分配比例下降,后期升高。可见,干旱胁迫使植株体内 N,P 养分的分配比例失调,生育前期根系中养分相对数量减少,影响了根系的建成,生育后期分配比例升高,又使较多的 N,P 滞留

于根,相对运转能力减弱,影响了子粒的灌浆充实,产量下降。

2.2.3 根系对 N,P 养分的吸收运转

通过测定地上部茎叶和子粒中 N,P 养分含量和积累量变化,进一步分析根系在生育后期对 N,P 养分的吸收和运转情况(表 5)。T1,T2 总运转量小于总积累量,说明 T1 和 T2 处理不仅根系和地上部器官内部贮藏的养分向子粒中运输,而且根系还能从土壤中吸收一定量的养分运输给子粒,且 T1 吸收 N,P 这种能力分别是 T2 的 2.8 和 1.4 倍;T3,T4 总运转量大于总积累量,说明土壤含水量低于 60% 时,植株体内正常的养分运转失调,有较多的养分损失。T3 N,P 的损失量占运转量的 13% 左右,T4 达到 70%。这与干旱条件下根膜透性遭到破坏、根系活力下降密切相关^[3]。可见,维持根系对养分正常吸收和运转的最低土壤含水量不能低于 60%。

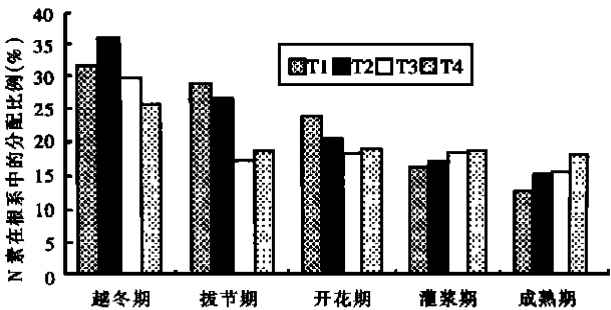


图 1 干旱胁迫下 N 素在根系中的分配状况

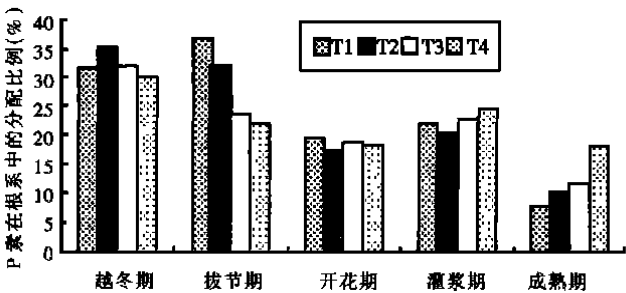


图 2 干旱胁迫下 P 素在根系中的分配状况

表 5 干旱胁迫下 N,P 养分的吸收运转状况

器 官	项 目	N				P			
		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
根系	运转量(mg/株)	5.7	3.2	3.3	2.7	1.4	0.5	0.4	0.4
	占子粒总积累量(%)	14.1	9.4	15.3	51.9	17.2	7.7	11.8	56.6
地上部分 (不含子粒)	运转量(mg/株)	25.7	27.7	21.9	15.4	5.7	4.7	3.4	2.1
	占子粒总积累量(%)	64.7	81.7	101.8	296.1	71.3	80.6	101.8	273.7
	总运转量(mg/株)	31.3	30.9	25.2	18.1	7.1	5.2	3.8	2.5
	子粒总积累量(mg/株)	39.7	33.9	21.5	5.2	8.0	5.8	3.3	0.8
	净增减量(mg/株)	8.4	3.0	- 3.7	- 12.9	0.9	0.6	- 0.45	- 1.7
	净增量占子粒积累量(%)	21.2	8.8	—	—	11.5	11.6	—	—
	减少量占总运转量(%)	—	—	14.7	71.3	—	—	12.0	70.0

2.3 干旱胁迫对根系中含糖量的影响

干旱胁迫下根系中含糖量下降(图 3),不同处理在各生育期内差异较大。越冬期根系中含糖量最高,受干旱的影响较小,有利于幼苗安全越冬。扬花期下降幅度最大,尤其 T3 和 T4 分别比对照下降了 40% 和 60%。不仅影响根系继续扩大,同时影响颖花的授粉受精过程。灌浆期和成熟期由于根系衰老,碳水化合物向子粒中运转,根系中含糖量减少,不同处理间差异

较小。

干旱胁迫影响了 C 素代谢和 N 素代谢过程, 因此根系中 C/N 也发生了变化(图 3)。T1 和 T2 根系中 C/N 在生育期内变化呈单峰曲线, 峰值在扬花期, 能够维持植株正常生长发育; T3 和 T4 根系中 C/N 呈较缓慢的下降趋势, 而且在扬花期干旱使 C/N 下降幅度最大, C/N 严重失调, 营养生长不良, 生殖生长受阻, 植株性状变劣。

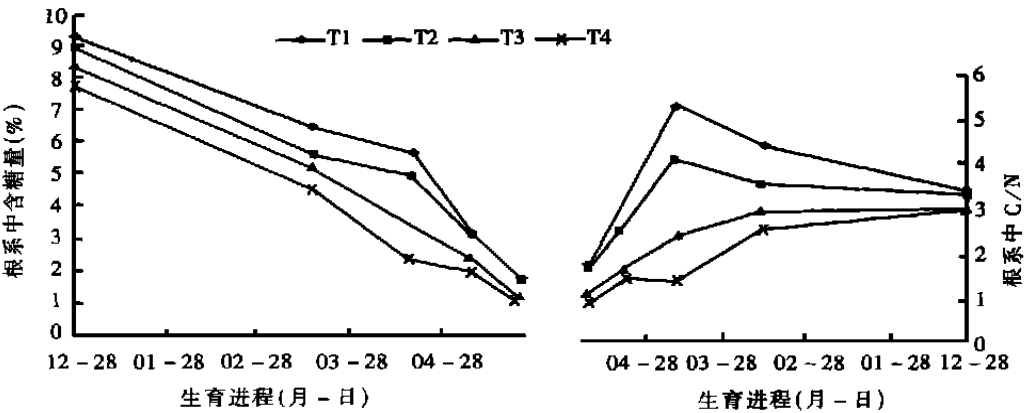


图 3 干旱胁迫下根系中含糖量和 C/N 的变化

3 结论与讨论

在土壤—植物—大气系统中, 水分是贯穿整个系统的动力因素。水分缺乏导致根系从土壤中吸收养分的三种机制——截获、质流和扩散受到抑制, 根系中的氮、磷积累量减少, 从而影响地上部光合等生理过程, 碳水化合物和有机氮化物减少, 反过来又制约了根系的发展。拔节至扬花阶段干旱对发根的影响最大, 抑制根系干物质积累的速度亦较强。可见干旱首先直接影响到根系的代谢, 继而进入植株体内营养代谢的恶性循环状态。因此在栽培上, 减轻或缓解干旱影响应从根系入手, 改善根际生态环境, 提高水分养分利用效率。

根系对氮、磷的吸收运转及根系中氮、磷的分配量, 在不同程度的干旱胁迫下差异较大。当 SRWC 在 60% 以上时, 根系能从土壤中吸收氮、磷向子粒中运输, 后期吸收 N, P 量分别占子粒总 N, P 量的 9.4% 和 7.7%; 当 SRWC 在 60% 以下时, 根系非但没有净吸收, 反而有较多的损失。干旱使根系中 C/N 代谢紊乱, 后期较多的 N, P 滞留于根中, 运转失调。由此指出, 维持根系对氮、磷良好吸收和运转的土壤含水量不能低于 60%。

参考文献:

[1] 梁银丽, 陈培元. 土壤水分和氮磷营养对小麦根系生理特性的调节作用[J]. 植物生态学报, 1996, 20 (3): 255- 262.

[2] 薛青武, 陈培元. 土壤干旱条件下氮素营养对小麦水分状况和光合作用的影响[J]. 植物生理学报, 1990, 16(1): 49- 56.

- [3] 王晨阳, 马元喜, 周苏玫, 等. 土壤干旱胁迫对冬小麦衰老的影响[J]. 河南农业大学学报, 1996, 30(4): 309- 313.
- [4] 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, 29(4): 67- 74.
- [5] 石 岩, 林 琪, 李素美, 等. 土壤水分胁迫对小麦养分分配及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 50- 56.
- [6] 饶立华编著. 矿质营养及其诊断[M]. 北京: 农业出版社, 1993.
- [7] Morgan J A. The effect of N nutrition on the water relation and gas exchange characteristics of wheat [J]. Plant Physiol, 1986, 80: 52- 58.

Effects of Drought Stress on Roots Growth and Nutrient Metabolism of Winter Wheat

ZHOU Sur mei¹, MA Yuarr xi², WANG Cher ryang²,
WANG Hua cen², LU Feng rong³

(1 Agronomy College, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2 China Center of Wheat Engineering and Technical Research, China;

3 Wheat Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, China)

Abstract: The effect of roots growth and nutrient metabolism of winter wheat was studied under different degree of soil sustaining drought. It showed that under the drought stress condition the secondary roots develop slowly, the amount of those decreased, roots were harden, root tip shrink back. Rooting ability was effected badly in jointing-flowering stage. The roots dry matter accumulation also declined, the peak appearance was delayed. The total accumulation of N and P decreased. The distribution ratio of accumulation declined at the early and middle stages, then rises after flowering. More N and P stayed in the roots at the late stage, less was transported outward, and to lose more above middle degree drought stress. The content of total soluble sugar decreased, and the ratio of C to N is disorder. The content of soil water which maintain the roots uptake and transport N, P well and form the appropriate ration of C to N can't be less than 60% percent.

Key words: Drought stress; Winter wheat; Root system; Growth; Nutrient metabolism