植物营养与肥料学报 2000,6(2):159～165
Plant Nutrition and Fertilizer Science

磷钾营养对渍水条件下大麦若干生理生化性状的影响

林咸永[1], 章永松[1], 苏 玲[1], 杨肖娥[1], 王家骧[2], Sam Portch[2]
(1.浙江大学土壤与农业化学系,浙江杭州 310029; 2. 加拿大磷钾研究所)

摘要: 通过盆栽试验研究了磷钾营养对渍水条件下大麦若干生理生化性状的影响。结果表明,淹水后各处理大麦叶片叶绿素含量、光合作用强度、叶片和根系 SOD 活性、根系活力都有较大幅度的下降;叶片游离脯氨酸含量、根系质膜透性以及叶片和根系 MDA 含量明显增加。施用磷肥或钾肥可在一定程度上缓解上述的变化,磷钾肥配施则效果更佳。施用磷、钾肥可以减缓渍水对大麦生长的不良影响。

关键词: 渍水胁迫;大麦;磷;钾;生理生化性状
中图分类号:S158.3;Q945.1　　**文献标识码**:A　　**文章编号**: 1008-505X(2000)02-0159-07

长江中下游地区是我国主产麦区之一,麦类作物生育中后期遭受渍害是限制该麦区大小麦高产稳产的重要因素[1~3]。这主要是由于在麦类作物生长中后期降雨过多和集中,容易发生积水渍害;兼之稻麦轮作制的推广,前作种植水稻使土壤浸水时间长,土壤粘重和透气性差往往加剧渍害的程度和发生频率[2,4,5]。渍害对麦类作物有多方面不良的影响。土壤渍水抑制小麦根系和地上部干物质积累[2,6,7],抑制大麦[1]和小麦的光合作用[2,3,6],改变小麦根系和地上部激素平衡关系[8,9],降低小麦根系活力[4,6]和呼吸强度[4,10]及对养分的吸收[11]。已有的文献大多是关于渍害对小麦生长和生理特性的影响,而对大麦的研究则较少。至于养分供应对渍水条件下植物生长的影响仅有一些零星的报道。研究表明,在渍水条件下,施用磷肥能促进火炬松的生长[12],施用氮肥改善小麦地上部的生长[13],但未见养分供应对渍水条件下作物生理生化性状影响方面的研究报道。本试验旨在探明磷钾营养对渍水条件下大麦生理生化特性方面的影响,以期为大麦抗渍性适用的栽培技术和合理施用磷钾肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

盆栽试验在浙江大学植物营养温室进行。试验采用塑料桶,每桶装土 7kg。供试作物为大麦(*Hordeum vulgare* L.),品种为浙农 3 号。供试土壤采自浙江省龙游县,土壤类型为黄筋泥属,母质为 Q_4 红土,土壤 pH5.45,有效磷 (Olsen-P) 和有效钾 (1mol/L NH_4Ac 提取)含量分别为 2.64mg/kg 和 46.50mg/kg。

收稿日期:1999-06-07
基金项目:本研究得到加拿大磷钾研究所(PPI/PPIC)资助
作者简介:林咸永(1965—),男,浙江省三门县人。博士,副教授,硕士生导师,主要从事土壤与植物营养方面的教学与科研工作。

1.2 试验设计

试验设7个处理,5次重复。所有处理均施等量氮肥,所用氮、磷、钾肥分别为尿素、普钙和氯化钾,详见表1。肥料与土壤混匀后装盆,追肥表施。磷肥全部基施,氮、钾肥80%基施,20%作为孕穗肥(8叶1心)。在大麦孕穗期保持1cm的水层淹水处理,淹水7天后取样测定各项生理生化指标。

表1 试验处理

Table 1 Treatments of experiment

处理 Treatment	施氮量 N rates (g/kg)	施磷量 P_2O_5 rates (g/kg)	施钾量 K_2O rates (g/kg)
P_0K_0	0.200	0.000	0.000
P_0K_1	0.200	0.000	0.124
P_1K_0	0.200	0.062	0.000
P_1K_1	0.200	0.062	0.124
P_1K_2	0.200	0.062	0.248
P_2K_1	0.200	0.124	0.124
P_2K_2	0.200	0.124	0.248

1.3 测定项目及方法

叶绿素含量用Minolta叶绿素计SPAD-502测定;光合作用强度用LI6200便携式光合作用测定系统测定;在测定时倒出塑料桶中的土壤,迅速用水冲洗根系且避免根系的损伤,用TTC(三苯基氯化四氮唑)法测定大麦根系脱氢酶活性,作为根系活力的指标[14];用JF12-1B火焰光度计测定K^+外渗率表示质膜相对透性[15];硫代巴比妥酸(TAB)法[16]测定丙二醛(MDA)含量;SOD活性用氮兰四唑(NBT)光化学还原法测定[16];用张殿忠等改进的磺基水杨酸法测定游离脯氨酸含量[17]。

2 结果与分析

2.1 渍水条件下磷钾营养对大麦叶片叶绿素含量及光合作用的影响

叶绿素计读数(SPAD)基于叶绿素对红光(650nm左右)的高吸收和对远红外(940nm左右)的低吸收,已有许多试验证明叶绿素计读数与水稻、棉花、大豆、大小麦等作物的叶绿素含量有极显著正相关,被广泛应用于植物叶片叶绿素含量的测定。试验结果表明,无论淹水与否,磷、钾配施的各处理中大麦叶片SPAD值显著高于单施或不施磷、钾肥处理(表2)。渍水条件下大麦叶片SPAD值比对照有较大幅度的下降,其差异达极显著水平。其中下降最大的是不施磷钾肥的P_0K_0处理,其降幅达到80.6%,而施用磷钾肥的各处理中SPAD值虽也有不同程度的降低,但幅度小于P_0K_0处理,降幅最小的是P_2K_2处理,比对照下降41.7%。可见,土壤渍水条件下,施用磷肥或钾肥能缓解大麦叶绿素含量的下降,特别是磷钾肥配施时效果尤为明显。

渍水条件下大麦叶片光合作用速率也有很大的下降(图1)。由图1可知,不施肥的P_0K_0处理淹水后光合作用速率降幅最大,达到75%,施用磷、钾肥时光合作用速率降低幅度减小,其中磷、钾配施的P_2K_2下降仅34.4%。可见,渍水条件下磷钾配施时大麦叶片仍能保持较高的光合作用速率。

2.2 渍水条件下磷钾营养对大麦根系活力的影响

采用TTC法对大麦根系活力的测定结果表明(图2),淹水处理使不施磷钾肥处理

表 2　磷钾营养对大麦叶绿素含量(SPAD 值)的影响

Table 2　Effect of P and K application on chlorophyll content of barley leaves (SPAD value)

处理 Treatment	P_0K_0	P_0K_1	P_1K_0	P_1K_1	P_1K_2	P_2K_1	P_2K_2
对　照	20.1 g	24.9f	29.3e	37.3bd	38.1bc	38.8b	41.7a
淹　水	3.9 fg	5.4f	7.6e	11.5d	15.9c	21.8b	24.3a
降幅(%)	80.6	78.3	74.1	69.2	58.3	43.8	41.7

注:带相同字母的同一行平均值间表示邓肯氏多重比较差异不显著($p<0.05$),下同。

Note: Means in a line followed by the same letter are not significantly different at $p<0.05$ level according to Dunncan's Multiple Range Test. Same as follows.

(P_0K_0)大麦根系活力 TPF(鲜体)由 231.4μg/g 下降到 32.9μg/g,下降幅度达到 85.8%。这说明淹水后大麦根系的脱氢酶活性很低,其代谢活力很弱。淹水处理下,P_2K_2 处理脱氢酶活力下降幅度最小,仅为 34.4%,P_1K_2 处理下降 58%,比前者高出 23.6 百分点;而 P_1K_1 处理 TPF 从 367.2 下降到 132.9μg/g,其降幅为 63.8%,比 P_0K_1 低了 10.9 百分点。这表明淹水虽然对大麦根系活力有明显的抑制作用,但磷钾的配施对淹水条件下保持较高的根系活力有明显的作用,随着磷钾水平的提高这种作用尤为明显。

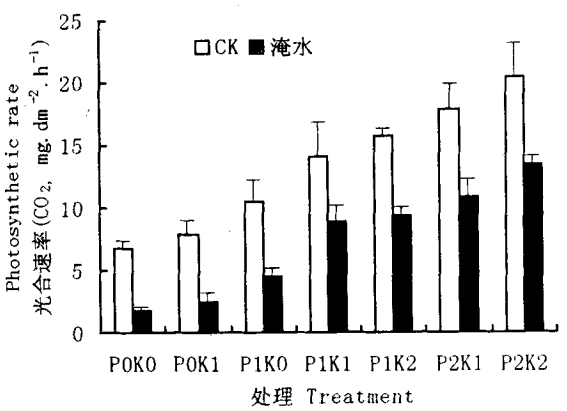

图 1　磷钾营养对大麦叶片光合速率的影响

Fig.1 Effect of P and K application on photosynthetic rate of barley leaves

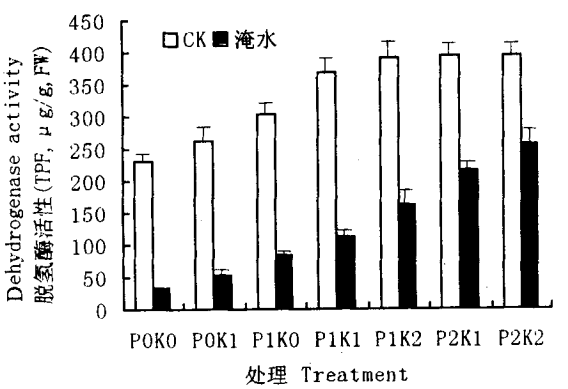

图 2 磷钾营养对大麦淹水后根系活力的影响

Fig.2 Effect of P and K application on root vitality of barley

2.3　渍水条件下磷钾营养对大麦叶片游离脯氨酸含量的影响

许多研究表明,植物受到干旱、盐害等逆境胁迫时体内会产生游离脯氨酸的积累,其含量常被作为作物对逆境胁迫反应大小的指标。表 3 结果表明,在对照和淹水条件下,磷、钾配施的 4 个处理大麦叶片脯氨酸含量显著低于 P_0K_0、P_0K_1 处理。而淹水后各处理大麦叶片游离脯氨酸含量都有不同程度上升,与对照相比其差异达极显著水平。对照组各处理叶片的游离脯氨酸(AA)含量都小于 80μg/g(鲜体),不施磷、钾肥或单施磷、钾肥处理淹水后其叶片游离脯氨酸含量都高于 110μg/g(鲜体),而磷钾配施时大麦叶片游离脯氨酸积累幅度较低。

表 3 磷钾营养对大麦叶片游离脯氨酸含量的影响(AA μg/g, FW)

Table 3 Effect of P and K fertilization on free proline content of barley leaves

处理 Treatment	P_0K_0	P_0K_1	P_1K_0	P_1K_1	P_1K_2	P_2K_1	P_2K_2
对　照	80.1a	74.3a	59.6b	55.1bc	40.9d	39.7de	35.4def
淹　水	176.4a	134.9b	111.5c	97.2d	69.5e	63.2ef	55.7fg
升幅(%)	120.3	81.6	87.1	76.4	69.9	59.0	57.2

2.4 渍水条件下磷钾营养对大麦根系质膜透性及 MDA 含量的影响

研究结果表明(图 3),大麦植株经淹水后,根系质膜透性明显提高。淹水后 P_0K_0 处理质膜透性增加 110.9%,施用磷、钾肥处理的根系质膜透性增加幅度较低,其中 P_2K_2 处理增加 54.1%。可见,磷钾营养对维持大麦质膜的完整性有明显的效果。

植物在逆境伤害或衰老过程时,往往发生膜脂过氧化作用。膜脂过氧化水平通常以丙二醛(MDA,为膜脂过氧化产物)的含量来衡量。表 4 的结果表明,淹水后大麦叶片和根系 MDA 含量明显提高,与对照相比其差异达到极显著水平,但根系 MDA 积累明显高于叶片。在对照和淹水处理中,不同磷、钾水平下的 MDA 含量的变化有较大差异,磷、钾配施的 4 个处理叶片和根系 MDA 含量显著低于 P_0K_0、P_0K_1 处理。淹水时,P_0K_0、P_0K_1 和 P_1K_0 处理的 MDA 含量与对照相比大幅度增加,而 P_1K_1、P_1K_2、P_2K_1、P_2K_2 处理 MDA 积累量较低。由此可见,磷钾配施对于减少淹水条件下大麦体内 MDA 积累,即降低膜脂过氧化程度有明显的作用。

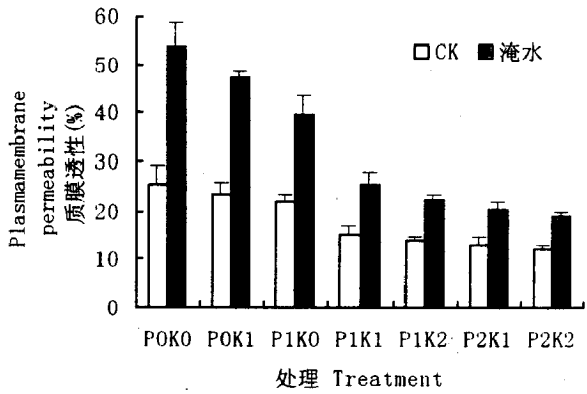

图 3 磷钾营养对大麦根系质膜透性的影响

Fig.3 Effect of P and K application on plasmamembrane permeability of barley roots

表 4 磷钾营养对大麦叶片和根系 MDA 含量的影响(MDA nmol/g, FW)

Table 4 Effect of P and K application on MDA content of barley leaves and roots

处理 Treatment	P_0K_0	P_0K_1	P_1K_0	P_1K_1	P_1K_2	P_2K_1	P_2K_2
				叶片 Leaves			
对　照	23.0a	21.0b	14.7c	13.1cd	12.6de	11.8ef	10.7fg
淹　水	35.7a	31.3b	21.6c	18.4d	17.2de	14.3f	13.1gf
升幅(%)	55.2	49.0	46.9	40.5	36.5	21.2	22.4
				根系 Roots			
对　照	26.1a	24.6a	19.5b	16.2c	14.3cd	12.7ed	12.9def
淹　水	43.5a	38.5b	29.1c	23.4d	19.9e	16.5f	16.3fg
升幅(%)	66.7	56.5	49.2	44.4	39.2	29.9	26.4

2.5　渍水条件下磷钾营养对大麦叶片和根系 SOD 活性的影响

SOD 活性的测定结果表明(表 5),淹水后大麦叶片和根系的 SOD 活性都有不同程度的下降,与对照相比其差异均达到极显著水平,但根系 SOD 活性的降低幅度明显高于叶片。在对照和淹水条件下,磷、钾配施的 4 个处理(P_1K_1、P_1K_2、P_2K_1 和 P_2K_2)中大麦叶片和根系的 SOD 活性均显著高于不施或单施磷、钾肥的 3 个处理。而淹水时 P_0K_0、P_0K_1、P_1K_0 等 3 个处理 SOD 活性下降幅度较大,磷钾配施时降幅较低,并能保持较高的 SOD 活性。已有研究表明,SOD 的功能在于清除体内超氧物阴离子自由基,故保持较高的 SOD 活性对于大麦免受自由基伤害具有非常重要的作用。

表 5　磷钾营养对大麦叶片和根系 SOD 活性的影响(U/g, FW)

Table 5　Effect of P and K application on SOD activity of barley leaves and roots

处理 Treatment	P_0K_0	P_0K_1	P_1K_0	P_1K_1	P_1K_2	P_2K_1	P_2K_2
				叶片　Leaves			
对　　照	198.5g	294.6f	357.2e	411.6cd	422.3c	503.5b	559.3a
淹　　水	101.3g	197.6f	259.1e	328.5cd	341.5c	410.2b	448.8a
升幅(%)	49.0	32.9	27.5	20.2	19.1	18.5	19.8
				根系　Roots			
对　　照	153.6fg	166.9f	196.2e	285.3d	319.1c	354.3b	385.2a
淹　　水	63.2g	85.7f	115.6e	178.2d	216.5c	257.9b	295.1a
升幅(%)	58.9	48.7	41.1	37.5	32.2	37.2	23.4

3　讨论

土壤渍水对作物生理生化特性的影响是多方面的,而根系缺氧是渍水导致一系列生理生化性质变化的最根本原因[1~5]。本试验的结果表明,土壤渍水使大麦根系质膜透性增加、MDA 积累、根系活力下降,这与在小麦[4,6]和玉米[18]中观察到的结果一致。据相关分析,根系 MDA 含量与质膜透性(K^+ 外渗率)呈极显著正相关,相关系数为 0.978**;MDA 含量和质膜透性与根系活力呈极显著的负相关,相关系数分别为 -0.858** 和 -0.892**。因而可以推测,在渍水条件下,质膜透性的增大是由膜损伤引起的,而质膜的损伤是由膜脂过氧化作用造成的,质膜受损进而影响了根系活力。然而,在本试验既缺磷又缺钾的供试土壤条件下,磷、钾营养的供应则大大降低了渍水条件下大麦根系的膜脂过氧化水平和质膜透性,提高了根系活力,这对于提高大麦的抗渍性是十分有利的。

试验的结果还表明,大麦遭受渍害后,叶片和根系 MDA 含量增加,说明渍水对膜伤害中有氧自由基的参与。但生物体自身有一种保护系统来清除体内的自由基以免受其危害。SOD 被公认为植物体内的主要保护酶,参与活性氧的代谢[4,16,18]。但渍水降低了大麦叶片和根系的 SOD 活性,这一趋势恰好与 MDA 含量变化相反。叶片和根系 MDA 含量与 SOD 活性呈极显著的负相关,相关系数分别为 -0.936** 和 -0.925**;而 SOD 活性与质膜透性和根系活力分别呈极显著负相关和正相关,相关系数分别为 -0.898** 和 0.879**。由

此可见,大麦体内 MDA 和 SOD 存在着相互制约的关系,进而影响质膜透性和根系活力。施用磷、钾肥尤其磷钾配施能抑制渍水条件下大麦体内 MDA 积累,即降低其膜脂过氧化水平,减缓 SOD 活性的下降。

大麦遭受渍害时根系首当其冲,根系渍水缺氧引起了一系列生理生化的变化,进而影响地上部如叶片叶绿素合成和降解及光合作用等生理过程。当然,地上部的生理和生长受抑又会反过来抑制根系生长和生理活性。在渍水条件下,大麦根系活力下降幅度远大于叶片叶绿素含量和光合作用,根系 MDA 积累幅度和 SOD 活性下降幅度大于叶片,故从程度上来说,渍水对根系生理的影响比地上部来得更大。因此,在生产实际中,克服或缓解渍害应从根系入手,重视大麦中后期排涝防渍工作,改善其根系的生存环境,并且注意磷钾肥的平衡施用,以期提高大麦的抗渍性。

参考文献

[1] 马跃芳,龚辉.大麦品种在拔节孕穗期对渍害的生理响应[J].浙江农业学报,1990,2(1):18~22.

[2] 李金才,等.小麦湿害生理及其与小麦生产的关系[J]. 植物生理学通讯,1997,33(4):304~312.

[3] 刘友良.植物水分逆境生理[M].北京:农业出版社,1992.144~187.

[4] 王晨阳,等.淹水对冬小麦根系活性氧代谢及生理活性的影响[J].作物学报,1996,22(6):712~719.

[5] 王三根,等.淹水对大麦与小麦若干生理生化特性影响的比较研究[J].作物学报,1996,22(2):228~332.

[6] 吕军.渍水对冬小麦生长的危害及其生理效应[J].植物生理学报,1994,20(3):221~226.

[7] Drew M C. Oxygen deficiency in the root environment and plant mineral nutrition[A]. *In*: Jackson MB, et al., (eds.). Plant life under oxygen deprivation[M]. The Netherlands: Academic Publishing, 1991.303~306.

[8] 董建国,俞子文,余叔文.在渍水前后的不同时期增加体内乙烯产生对小麦抗渍性影响[J].植物生理学报,1983,9(4):383~389.

[9] Pezeshki S R. Plant response to flooding[A]. *In*: Wilkinson J(ed.). Plant-environment interaction[M]. New York: Marcel Dekk, 1994.289~321.

[10] Huang B, Johnson J W. Root respiration and carbohydrate status of two wheat genotypes in responses to hupoxia[J]. Ann. Bot., 1995,75:427~432.

[11] Marshner H. Mineral nutrition of higher plants[M]. Academic Press, 1995.626~641.

[12] Hook D D *et al*. Responses of lobolly pine and swamp tupello seedlings to soil flooding and phosphorus[J]. Plant and Soil, 1983, 71: 87~394.

[13] Huang B *et al*. Growth, physiological and anatomical responses of two wheat genotypes to waterlogging and nutrient supply[J]. J. Expt. Bot., 1994, 45(271):193~202.

[14] 秦遂初.作物营养施肥与诊断实验[M].北京:农业出版社,1991.67~71.

[15] 薛应龙.植物生理学实验手册[M].上海:上海科学技术出版社,1985.68~70.

[16] 张宪政.作物生理研究法[M].北京:农业出版社,1992.215~216.

[17] 张殿忠,等.测定小麦叶片游离脯氨酸含量的方法[J].植物生理通讯,1990,4:62~65.

[18] 汪宗立.玉米的抗渍伤害与膜脂过氧化作用和保护酶活性的关系[J].江苏农业学报,1988,4(3):1~8.

Effects of phosphorus and potassium on some physiological and biochemical properties of barley under waterlogging stress

LIN Xian-yong[1], ZHANG Yong-song[1], SU Ling[1], YANG Xiao-e[1], WANG Ja-son[2], Sam Portch[2]

(1. *Dept. of Soil Sci. and Agrochemistry, Zhejiang University, Hangzhou* 310029;

2. *Potash and Phosphate Institute of Canada*)

Abstract: A pot experiment was conducted to investigate the effects of phosphorus and potassium on some physiological and biochemical properties of barley under waterlogging stress. The results showed that waterlogging greatly reduced chlorophyll content, photosynthetic rate, leaf and root superoxide dismutase (SOD) activity; and remarkably increased leaf free proline content, root plasmamembrane permeability, leaf and root MDA content. Phosphorus and potassium could alleviate some of the adverse effects of waterlogging.

Key Words: waterlogging stress; barley; phosphorus; potassium; physiological and biochemical properties