

# 干旱条件下施肥效应及其作用机理\*

关军锋 李广敏

(河北省农林科学院农业物理生理生化研究所 石家庄 050051)

**摘要** 干旱问题是制约作物生长和产量的主要逆境因素之一。合理施用N、P、K肥可补偿干旱条件下作物生长受抑和产量降低的不良效应,改善植株的生理功能,提高水分利用效率。在生产实际中实行水肥耦合运筹,可充分发挥肥效,达到节水高产的目的。

**关键词** 作物 干旱 施肥 水分利用效率 水肥耦合

**Effects and mechanism of fertilization under drought.** GUAN Jun-Feng, LI Guang-Min (Institute of Agro-Physics, Plant Physiology and Biochemistry, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051), *CJEA*, 2002, 10(1): 59~61

**Abstract** Drought is the main factor restricting crop growth and yield. The proper application of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers could compensate the inhibition effects of crop growth and yield by drought-stress, improve the plant physiological function, and increase water use efficiency. The application of coupling of water and fertilizer could sufficiently take advantage of the fertilizer effects, save water and get high yield.

**Key words** Crop, Drought, Fertilizer, Water use efficiency, Coupling of water and fertilizer

世界范围的干旱问题日趋严重,因而开展以节水高产为中心的机理与技术研究意义重大。近年研究结果表明,施肥可使作物增产,补偿干旱条件下作物生长受抑和产量降低的不良效应,在抗旱栽培和提高水分利用率方面发挥重要作用。

## 1 施肥补偿干旱条件下作物生长受抑的不良效应

地上部。施用N、P、K肥,增加N、P、K素营养,能够补偿水分胁迫下作物表现出的叶面积减小、叶片伸展缓慢和产量下降等不良效应,促进干物质生产<sup>[1~5]</sup>。在水分胁迫下N、P施用量对小麦产量的影响呈抛物线形分布,且N肥和P肥最佳施用量随另一方施用量增加而降低,随水分胁迫加剧,施用N肥效果逐渐降低,而施P肥的效应增大,因此在水分胁迫下增施P肥可缓解干旱对产量的不利影响<sup>[2]</sup>。在我国典型的干旱半干旱区甘肃省定西地区浇灌底墒水而整个生育期不浇水,施P肥比不施P肥可提高春小麦产量29.79%<sup>[6]</sup>。

地下部。在不同土壤水分状况下施肥对地下部根系发育的作用效果不同<sup>[7]</sup>。在旱地条件下适量施用N、P肥,一方面可增加单株次生根条数,另一方面还增加根系生物总量和深层根系的数量,并能提高根系活力。相对于施N肥而言,施P肥对根系发育的促进作用更为明显。N、P配合施用,比单一施用N肥或P肥促进根系发育的效果更为显著<sup>[8]</sup>。与施N肥相比,施P肥能显著促进根系发育,加速根系生长,提高根干物质量。尤其在土壤严重干旱(土壤相对含水量为40%)时其增效作用更为显著<sup>[9]</sup>。

根/冠比值。施N肥可降低干旱条件下小麦根/冠比值<sup>[10]</sup>,说明高N对地上部的促进作用大于对地下部的促进作用。

## 2 施肥改善干旱条件下作物生理功能

### 2.1 光合作用

干旱条件下小麦叶片气孔阻力增加,叶肉光合活性降低,叶绿素含量减少,光合作用下降,这种光合速率( $P_n$ )的明显下降主要是中度以上的土壤干旱(土壤相对含水量为40%~25%)<sup>[4]</sup>。施N肥对干旱条件下叶片光合速率的影响与干旱程度、施N肥水平有密切的关系。与不施N肥相比,施用N肥能提高干旱条件下小

\* 河北省科委农业省校合作基金项目(98Z1305)资助

收稿日期:2000-08-16 改回日期:2000-10-10

麦叶片的光合速率<sup>[11,12]</sup>。干旱条件下光合速率随施N肥量增加而增大。严重干旱条件下施用N肥影响光合速率的主要因素不是气孔,而是叶肉光合能力。而上官周平<sup>[13]</sup>认为,在干旱条件下小麦的光合速率主要受制于非气孔因素,此时使用N肥可加剧干旱对叶绿体光合能力的抑制。在旱地条件下1次施用N肥,能增大叶面积,提高功能叶片的叶绿素、总糖和可溶性糖含量<sup>[14]</sup>,这是施N肥增加叶片同化物的一个佐证。施P、K肥增加干旱条件下小麦叶片的叶绿素含量,降低叶片CO<sub>2</sub>补偿点,提高单叶光合速率。

## 2.2 水分状况

施用化肥和有机肥可提高土壤肥力,明显提高植株水势,随土壤肥力提高,植物水有效性相应增加<sup>[15]</sup>。这表明施肥在一定程度上可缓解干旱对植物的胁迫伤害。施N、P肥的效果因土壤水分状况不同而异。从水势上看,在轻度干旱条件下N、P营养对叶片水势的影响不大,但在中度~严重干旱下随水分胁迫加剧,叶水势明显降低,施N肥反而降低叶片水势和相对含水量,施P肥则相反,从叶水势日变化来看,与N素营养相比,干旱条件下增加P营养能维持叶片在1d内较长时间具有较高的水分含量,提高根系水势和叶片束缚水含量,增强组织原生质的耐脱水能力<sup>[9]</sup>。土壤中度干旱时混施N、P、K肥的小麦叶片水势和相对含水量明显低于不施肥的叶片,但离体叶片的保水能力增强<sup>[17]</sup>。

## 2.3 渗透调节

施肥能提高干旱条件下小麦叶片的渗透调节能力<sup>[18,19]</sup>,这样作物本身通过降低渗透势使叶片维持一定的膨压,以利于干旱条件下叶片的正常生理代谢进行。从渗透调节物质上看,水分胁迫下单独施用N、K肥和混施能提高叶片中脯氨酸含量。通过对室内培养的玉米幼苗营养液中有无P的效应研究表明,在渗透胁迫下有P处理者大量积累渗透物质(可溶性糖、蔗糖、游离氨基酸和脯氨酸)的时间较无P处理滞后约3d左右,维持较高渗透物质积累量的时间较长,表明P对促进作物适应干旱胁迫及御旱性有显著的作用<sup>[20]</sup>。

## 2.4 蒸腾与蒸发

施用N、P肥可促进地上部发育,增加植株蒸腾量,减少土壤水分蒸发量<sup>[21]</sup>。薛青武等<sup>[2]</sup>认为随土壤含水量的下降,高N和中N条件下叶片的气孔导度和蒸腾速率下降很快,而低N叶片则下降较慢。在严重水分胁迫下(30%和25%的土壤毛管持水量)高N和中N叶片的气孔导度和蒸腾速率反而小于低N叶片,说明施N肥提高了小麦叶片对水分胁迫的敏感性,即提高了气孔的调节能力。但在土壤严重干旱条件下N营养引起蒸腾蒸发量明显下降,表现为负作用,P营养则为正作用,只是效果不及轻度干旱或不干旱的情况,同时施P肥小麦叶片蒸腾速率低,日变化的双峰现象减弱,这种情况一方面加大了土壤-根系-空气的水势梯度,便于植物从干燥的土壤中吸收水分;另一方面增加了植株的失水量,不利于维持水分,再加上施肥后植株叶面积增大,蒸腾耗水量高。

## 2.5 N代谢

水分胁迫时施N肥有利于提高小麦叶片的硝酸还原酶活性,从而有利于土壤中NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N向NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的转化,有利于植物对N的利用,且降低蛋白酶、肽酶及核糖核酸酶活性,使蛋白质和RNA保持在较高的水平,减缓N代谢紊乱<sup>[22,23]</sup>。

## 2.6 其他生理指标

在渗透胁迫的初期和渗透胁迫程度轻时,小麦根系中无机磷含量高于对照,但根系活力则随胁迫程度的加重而降低<sup>[24]</sup>,而施用P肥能明显提高根系比表面积,降低根系呼吸速率。干旱时施K植株叶片细胞透性低于未施K者<sup>[25]</sup>,表明施K提高植物抗旱性。但严重干旱条件下施用N肥多时增大细胞膜透性<sup>[1]</sup>,表明过量施用N肥对植株的发育并不利。

# 3 水分利用效率与水肥耦合

## 3.1 施肥与水分利用效率的关系

用不同的植物材料和水分利用效率表示方法都证明,适当施肥可明显提高水分利用效率。如施用N、P肥提高小麦幼苗水分利用效率(干物质量与耗水量的比值),最优的施肥方案是在严重干旱下施用P肥;在土壤较为干旱时适当增施N肥,水分条件较好时适当少施N肥。水分胁迫下施N肥后小麦叶片短时水分利用效率(蒸腾单位质量水所同化的CO<sub>2</sub>量,  $P_n/Tr$ )有所提高,甚至与正常供水的相当,这说明因水分胁迫导致的短时水分利用效率的降低可通过增施N肥得到部分补偿,但严重干旱条件下高N处理反而降低短时间水分利用效率<sup>[26]</sup>。叶面喷施KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>能提高玉米幼苗叶片的短时间水分利用效率<sup>[27]</sup>。盆栽和大田实验

结果表明,施肥,特别是N、P、K肥配施可显著提高小麦水分利用效率(产量与土壤耗水比值)。党廷辉<sup>[29]</sup>在分析冬小麦产量与水肥的关系后指出,施肥方式、种类和数量直接影响水分利用效率和底墒利用效率,适当增施有机肥、N肥和P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>能明显改善水分利用效率和底墒利用率。N肥有利于提高水分利用效率,而P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>则有利于提高底墒利用率,增强对土壤深层水的利用。从热力学上看,施肥提高作物水分利用效率的机理在于增加土壤与植物间的水分热力学函数——偏摩尔自由能梯度,提高植株的提水作用,平抑不同土壤含水量所导致的土壤-植株间水分自由能梯度的差异<sup>[29]</sup>。

### 3.2 水肥耦合效应

鉴于水分胁迫影响肥效和施肥提高干旱条件下作物生产能力,因此在实际生产中合理实行水肥耦合运筹<sup>[30,31]</sup>,可大大提高水分利用效率,发挥肥效,以保证在干旱条件下作物不减产,甚至增产。研究表明,小麦对N、P的吸收随土壤含水量的增加而增加,产量亦随之提高;相对含水量在54%~67%时肥水交互作用属列比希协同作用类型;相对含水量达80%时肥水交互作用则转变为顺序加和性类型。樊小林等<sup>[32]</sup>研究证明,在轻度干旱条件下选用中度抗旱的小麦品种,配合施用偏重和中等水平的N肥,可达到最高籽粒产量。至于旱地施肥策略,李生秀等<sup>[33]</sup>提出在养分上要注意合理配合,用量上要考虑土壤供水,方法上要重视有机肥底施,各种肥料深施和早施。总之,从长远来看,今后应注意加强干旱胁迫下肥效的作用机理研究,考虑实际情况下干旱区的施肥问题,以解决旱区水源紧张和粮食产量偏低的重大难题。

### 参 考 文 献

- 1 张岁歧,山 仑. 氮素营养对春小麦抗旱适应性及水分利用的影响. 水土保持研究,1995,2(1):31~34
- 2 张岁歧,李秧秧. 施肥促进作物水分利用机理及对产量的影响研究. 水土保持研究,1996,3(1):185~191
- 3 梁银丽,康绍忠,张成毅. 不同水分条件下小麦生长特性及氮磷营养的调节作用. 干旱地区农业研究,1999,17(4):58~63
- 4 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. 植物生理学报,1990,216(1):49~56
- 5 张岁歧. 干旱条件下无机营养对作物生长发育和水分利用效率的影响. 旱地农业生理生态基础. 北京:科学出版社,1998. 233~246
- 6 王同朝,卫 丽,吴克宁等. 旱农区水磷耦合效应对春小麦产量和水分利用效率的影响. 农业工程学报,2000,16(1):53~55
- 7 张立新,吕殿青,王九军等. 渭北旱塬不同水肥配比冬小麦根系效应的研究. 干旱地区农业研究,1996,14(4):22~28
- 8 李友军. 旱地小麦根系发育与调控效应的研究. 干旱地区农业研究,1997,15(3):6~11
- 9 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. 生态学报,1996,16(3):258~264
- 10 徐 萌,山 仑. 无机营养对春小麦抗旱适应性的影响. 植物生态学与地植物学学报,1991,15(1):79~87
- 11 李世清,田霄鸿,李生秀. 养分对旱地小麦水分胁迫的生理补偿效应. 西北植物学报,2000,20(1):22~28
- 12 杜建军,李生秀,高亚军等. 氮肥对冬小麦抗旱适应性及水分利用的影响. 西北农业大学学报,1999,27(5):1~5
- 13 上官周平. 氮素营养对旱作小麦光合特性的调控. 植物营养和肥料学报,1997,3(2):105~109
- 14 薛 崧,吴小平,冯彩平等. 不同氮素对旱地小麦叶片叶绿素和糖含量的影响及其与产量的关系. 干旱地区农业研究,1997,15(1):79~84
- 15 刘思春,张一平,高俊凤等. 不同肥力水平下土壤-植物-大气连续系统水势温度效应研究. 西北农业学报,1996,5(4):49~53
- 16 梁国社,刘思春,朱建楚等. 土壤-植物连续系统肥水效应的初步探讨. 西北农业大学学报,1997,25(6):101~104
- 17 徐 萌,山 仑. 不同水分条件下无机营养对春小麦水分状况和渗透调节的影响. 植物学报,1992,34(8):596~602
- 18 李 英,陈培元,范德纯. 水分胁迫下钾素营养对小麦渗透调节和光合作用的影响. 西北植物学报,1992,12(5):92~97
- 19 陈建军,任永浩,陈培元等. 干旱条件下氮素营养对小麦不同抗旱品种生长的影响. 作物学报,1996,22(4):483~489
- 20 曲 东,王保莉,汪沛洪等. 渗透胁迫下磷对玉米叶片有机渗透物质的影响. 干旱地区农业研究,1996,14(2):72~77
- 21 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. 植物营养与肥料学报,1999,5(3):221~226
- 22 张殿忠,汪沛洪. 水分胁迫与植物氮代谢的关系,水分胁迫时氮素对小麦叶片氮代谢的影响. 西北农业大学学报,1988,16(4):15~21
- 23 康玲玲,魏义长,张景略. 水肥条件对冬小麦生理特性及产量影响的试验研究. 干旱地区农业研究,1998,16(4):21~28
- 24 王同朝,卫 丽,程相武等. 缺磷对渗透胁迫条件下春小麦根系生长及活力的影响. 华北农学报,1999,14(2):53~57
- 25 陈培元,蒋永罗,李 英等. 钾对小麦生长发育、抗旱性和某些生理特性的影响. 作物学报,1987,13(4):322~328
- 26 上官周平,周 维. 栽培条件对冬小麦叶片水分利用效率的影响. 植物营养与肥料学报,1998,4(3):231~236
- 27 段爱社,沈银查,崔文军等. 叶面喷施磷酸二氢钾对玉米杂交种掖单13幼苗水分利用效率的影响. 作物学报,1996,22(3):382~384
- 28 党廷辉. 施肥对旱地冬小麦水分利用效率的影响. 生态农业研究,1999,7(2):28~31
- 29 吕家珑,张一平,刘思春等. 施磷水平对SPAC水分能量特征的影响. 生态学报,2000,20(3):255~263
- 30 武天云,王生录,邓娟录等. 陇东旱塬地区冬小麦水肥效应耦合模拟研究. 西北农业学报,1995,4(2):69~72
- 31 吕殿青,刘 军,李 瑛等. 旱地水肥交互效应与耦合模型研究. 西北农业学报,1995,4(3):72~76
- 32 樊小林,李 玲,何文勤等. 氮肥、干旱胁迫、基因型差异对冬小麦吸氮量的效应. 植物营养与肥料学报,1998,4(2):131~137
- 33 李生秀,赵伯善. 我国旱地土壤合理施肥之刍议. 土壤通报,1991,22(4):145~148