

# 水分与氮素对小麦生长的影响综述

姜小凤<sup>1, 2</sup>, 郭天文<sup>2, 3</sup>, 郭建国<sup>4</sup>

(1. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省旱作区水资源高效利用重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃省农业科学院科研管理处, 甘肃 兰州 730070; 4. 甘肃省农业科学院植物保护研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 从水分和肥料在旱地农业生态系统中的重要意义、氮素对小麦生长发育和器官建成的重要性及水分对氮素转化的作用等方面对水分和氮素对小麦生长的影响进行了综述。

**关键词:** 小麦; 水分; 氮素; 生长; 综述

**中图分类号:** S512.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-1463(2018)02-0043-04

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-1463.2018.02.012

小麦是生长于 0~200 cm 土层的粮食作物, 开花至成熟阶段是小麦水分和氮素吸收分配的关键时期, 开花后的土壤含水量对营养器官的氮素的向穗部的转移积累及功能叶的衰老有较大贡献<sup>[1-3]</sup>。近年来, 水分胁迫与土壤氮素对小麦根系水分吸收和氮素转移、叶片光合参数、荧光指数

和活体叶绿素含量变化、地上部营养器官中氮素转移分配及功能叶生物酶活性、籽粒蛋白质含量和生物产量的影响等方面的研究取得了重要进展。水分胁迫与氮素对小麦产量的补偿机理和水分胁迫下小麦对氮素吸收的调控机制, 以及水肥高效配合提高旱地小麦的生产力及其提高作物对氮素

**收稿日期:** 2017-04-20; **修订日期:** 2017-11-16

**基金项目:** 国家自然科学基金(31460547)、国家科技支撑计划(2012BAD05B003)资助。

**作者简介:** 姜小凤(1974—), 女, 甘肃平凉人, 助理研究员, 硕士, 主要从事植物营养与土壤生态方面研究工作。E-mail: jxf\_5188@163.com。

**通信作者:** 郭天文(1963—), 男, 山西山阴人, 研究员, 主要从事植物营养与土壤肥料及科研管理工作。E-mail: 277824949@qq.com。

施白僵菌, 消灭玉米螟发生虫源, 减少玉米螟田间为害。早春防治玉米螟使用白僵菌封垛, 用量为 100 g/m<sup>2</sup>。也可以虫治虫, 人工释放赤眼蜂, 在玉米螟越冬代幼虫孵化前期开始放蜂, 连续放 3 次。三是物理防治, 利用灯光诱杀成虫、色板诱杀或性信息素诱杀害虫。四是药剂防治, 在病虫害防治适期, 选用低毒高效低残留生物农药或无公害农药进行防治。

## 参考文献:

- [1] 李青青, 郭满库, 郭成, 等. 甘肃玉米主要病害发生动态调查[J]. 植物保护, 2014, 40(3): 161-164.
- [2] 郭成, 徐生军, 金社林. 2015年甘肃玉米病虫害发生情况调查报告[J]. 甘肃农业科技, 2016(4): 1-3.
- [3] 丁伟, 王进军, 赵志模, 等. 春玉米田蚜虫种群的数量消长及空间动态[J]. 西南大学学报(自然科学

版), 2002, 24(1): 13-16.

- [4] 张培坤. 玉米纹枯病调查研究初报[J]. 广西植保, 2001, 14(1): 8-9.
- [5] 曹涤环. 玉米茎腐病的症状识别与防治[J]. 农村实用技术, 2017(6): 38-38.
- [6] 郭满库, 王晓鸣, 何苏琴, 等. 2009年甘肃省玉米穗腐病、茎基腐病的发生危害[J]. 植物保护, 2011, 37(4): 134-137.
- [7] 王晓鸣. 玉米病虫害田间手册: 病虫害鉴别与抗性鉴定[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2002.
- [8] 史晓凤. 天水市玉米主要病害综合防治技术[J]. 甘肃农业, 2009(9): 55-56.
- [9] 陈伟, 李晓东, 米孝尉, 等. 北票地区玉米主要病虫害危害症状及防治方法[J]. 甘肃农业科技, 2016(3): 90-94.

(本文责编: 杨杰)

的利用率,减少氮肥对生态系统的污染研究将成为热点。我们从氮素对小麦生长、水分对氮转化的作用等方面进行综述,以期对提高小麦氮素利用效率提供参考。

## 1 水分和肥料在旱地农业生态系统中的重要意义

水分和肥料是旱地农业生态系统中可调控基础物质的重要组成部分,提高其利用效率,促进作物生长发育是目前研究的热点。土壤水分和养分是影响小麦生长的主要因素,并且二者相互影响、相互制约<sup>[4-6]</sup>。水分对养分的影响表现在水分有利于土壤养分的矿化,从而提高其有效性,并且可以通过影响植物的代谢过程,进而影响作物对养分的吸收、转运和分布<sup>[7]</sup>;养分对水分的作用表现为养分通过影响根系发育及根系活性,从而影响植物的吸水能力。但在农业生产中,唯有水分和养分合理搭配才能表现出两因子叠加的增产效应<sup>[8]</sup>,并且使得水分和养分高效利用,以达到生态、生产、经济效应最大化。旱地农业中雨季与非雨季降水量不均造成了土壤干湿交替,在此生境下激发了小麦对水分逆境的适应和补偿机制。Kramer<sup>[9]</sup>和 Nulsen<sup>[10]</sup>研究发现,水分胁迫后复水限制植物生长恢复的原因在于根系。也有研究发现,水分胁迫后复水对小麦的根系吸水恢复程度和叶面积有显著影响;中度胁迫后复水,根系恢复吸水主要依赖于对原有根系活性的激发,新根生长占次要地位,有利于激发叶面积增长;重度水分胁迫下根系恢复吸水主要取决于新根的增加,对失活根系的激发占次要地位,不利于激发叶面积增长<sup>[11-13]</sup>。因此,水分胁迫下复水对春小麦的籽粒产量具有重要作用,若能在复水后缩短根系吸水恢复所需要的时间,增加叶面积,则可提高生产力。

## 2 氮素是作物生长发育和器官建成的重要元素

氮素是植物生长需要的重要元素之一。植物对土壤有效氮的吸收量是反映其生长状况的重要指标,也是改善土壤贫瘠地区植物生长发育的主要环境因素<sup>[14-15]</sup>。氮肥是增加小麦产量不可或缺的肥料投入。

### 2.1 氮素是作物的生命元素

氮素被称为生命元素。氮素对作物最终产量的贡献为 40%~50%,是植物体内蛋白质、核酸、磷脂和某些生长激素的重要组分之一<sup>[16]</sup>,而蛋白质、核酸、磷脂等是组成细胞质、细胞核和生物膜的最基本物质。酶及辅酶和辅基如 NAD<sup>+</sup>、NADP<sup>+</sup>、FAD<sup>+</sup> 等构成均有氮素参与。氮素还是某些植物激素、维生素等对生命活动起调节作用物质的主要成分<sup>[17]</sup>。因此,氮素直接影响细胞分裂和生长<sup>[18]</sup>。

### 2.2 氮素主宰小麦的生命活动

氮素是作物生长发育和器官建成的重要生物因子,施氮是调节植物生命活动、增加产量和改善品质的关键途径,施氮可通过调控植物的光合、蒸腾、呼吸作用及植物抗氧化系统等来影响植物的生理特性和水分利用效率(WUE)。干旱条件下适量施氮能提高小麦叶片光合系统活性,进而提高产量和 WUE,增强植物的抗旱能力,最终促进了净光合速率的提高,具有“以肥调水”的补偿和超补偿效应;相反,氮素缺乏可降低小麦单位叶片叶绿素含量和蛋白质含量,从而降低羧化效率,最终影响光合作用<sup>[19-20]</sup>。另外,小麦籽粒蛋白质的积累主要取决于叶片氮素同化物的供应水平和功能叶的衰老程度,增施氮肥能提高氮素同化关键酶硝酸还原酶(NR)的活性和地上部各器官中游离氨基酸的含量,进而促进籽粒蛋白质的合成,提高籽粒蛋白质含量。增施氮肥还能够改善活性氧清除酶 SOD 的代谢合成,使其维持较高的生理活性,降低超氧自由基的产生速度,延缓功能叶旗叶的衰老,从而提高小麦产量和品质<sup>[21-22]</sup>。

增施氮肥是农业生产中最重要的增产措施之一。但氮肥施用不当,会带来环境污染的风险<sup>[23]</sup>。研究表明,华北平原玉米氮肥利用率一般只有 20%~30%<sup>[24]</sup>,未被作物吸收利用而残留在土壤中的肥料氮易随降水和灌溉水淋溶到土壤深层或随径流进入地表水,从而污染地下和地表水<sup>[25-26]</sup>,或经氨挥发、硝化-反硝化作用以气体形态进入大气,污染大气环境<sup>[27-28]</sup>。因此,适宜的氮肥用量,恰当的施用时期和施用方法,是协

调氮素供应与作物吸收,减少氮素损失,提高氮肥利用率的有效措施。

### 3 水分对氮素转化的作用

水分是氮素吸收、转运和同化的重要限制因子,不仅影响着土壤氮素的转化、迁移,而且影响着植物机体养分的吸收、运转及分布,进而影响植株的水分状况和干旱胁迫进程<sup>[29-30]</sup>。灌水是0~100 cm 土层氮素积累量变化的主导因素,水、氮互作是100~200 cm 土层氮素积累变化的主导因素<sup>[31]</sup>。充足的水分能促进作物营养器官对氮素的吸收利用,但易使生殖器官氮素积累减少;相反,水分亏缺减少了营养器官叶片的氮素吸收,从而使最大光合作用能力受到抑制,但能明显提高氮肥的累积利用率和瞬时利用率,增加养分吸收速率和干物质累积速率,促进营养器官氮素向生殖器官转化速率的提高<sup>[32]</sup>。另外,土壤水分与小麦籽粒蛋白质含量呈负相关,适度的水分匮乏能显著提高小麦籽粒的蛋白质含量。但随着水分胁迫的加剧,小麦旗叶内超氧自由基的水平逐渐升高,活性氧清除系统SOD活性逐渐下降,膜脂过氧化产物MDA增加,旗叶衰老加速,进而造成旗叶伤害和产量的下降<sup>[33]</sup>。

关于植物地上部生长状况与水分和氮素的关系,在同类作物中也有相关研究。周毅等<sup>[34]</sup>研究表明,水分胁迫下供施氮肥可促进水稻分蘖。不同氮素形态和不同施肥水平会影响植物地上部株型结构、叶形态和空间分布、茎叶重量、产量等<sup>[35-36]</sup>。Gao等<sup>[37]</sup>研究表明,水分胁迫下,铵态氮可以增加水稻幼苗的鲜重并增加其抗旱性。因此,水分是氮素的转化是非常重要的因素。

### 4 结束语

灌水是调控土壤含水量的有效手段,水分胁迫复水后,氮素对小麦光合生理指标、氮素积累和运转效益的影响,以及水分胁迫下氮素对小麦产量的补偿机理、水分胁迫下复水后作物对氮素吸收的调控机制,已成为干旱条件下小麦抗旱增产技术研究的新方向。

植物对土壤水分和肥料的吸收利用是一个相互依赖的复杂生物学过程,是水分与肥料互作效

应的综合体现<sup>[38-39]</sup>。旱地作物产量的提高依赖水肥的高效配合,要充分发挥水分和养分的增产作用,必须确定水分与养分耦合的关键期、高效期和迟钝期,特别是水分、养分亏缺后的补偿效应<sup>[40]</sup>。研究水分胁迫复水后土壤氮素对作物生长发育过程中的光合效能、氮素吸收、转移和同化效率及光合产物累积水平,对于探明干旱条件下作物形态建成和增产机理具有重要积极意义。

### 参考文献:

- [1] 王月福,于振文,李尚霞,等. 氮素营养水平对小麦旗叶衰老过程中蛋白质和核酸代谢的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(2): 178-183.
- [2] 王晨阳,郭天财,阎耀礼,等. 花后短期高温胁迫对小麦叶片光合性能的影响[J]. 作物学报, 2004, 30(1): 88-91.
- [3] 王小燕,于振文. 水氮互作对小麦籽粒蛋白质组分和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(4): 632-638.
- [4] 郭天则,冯伟,赵会杰,等. 水分和氮素运筹对冬小麦生育后期光合特性及产量的影响[J]. 西北植物学报, 2003, 23(9): 1512-1517.
- [5] 李卫民,周凌云. 水肥(氮)对小麦生理生态的影响[J]. 土壤通报, 2004, 35(2): 136-142.
- [6] 黄明丽,邓西平,自登忠. N、P营养对旱地小麦生理过程和产量形成的补偿效应研究进展[J]. 麦类作物学报, 2002, 22(4): 74-78.
- [7] 杨建昌,王志琴,朱庆森. 不同土壤水分状况下氮素营养对水稻产量的影响及其生理机制的研究[J]. 中国农业科学, 1996, 29(4): 58-66.
- [8] 刘陈星,李亚娟,刘丽,等. 灌溉模式和供氮水平对水稻氮素利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 283-290.
- [9] KRAMER P J. Effects of wilting on the subsequent intake of water by plants[J]. American Journal of Botany, 1950(37): 280-284.
- [10] NULSEN R A, THURTELL G W. Recovery of corn leaf water potential after severe water stress[J]. Agronomy Journal, 1978(70): 903-906.
- [11] 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.
- [12] 刘晓英,罗远培. 水分胁迫后复水冬小麦根系吸水



- 的恢复[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(4): 16-20.
- [13] 陈晓远, 高志红, 刘晓英, 等. 水分胁迫对冬小麦根、冠生长关系及产量的影响[J]. 作物学报, 2004, 30(7): 723-728.
- [14] 上官周平, 李世清. 旱地作物氮素营养生理生态[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [15] 陈龙池, 廖利平, 汪思龙, 等. 酚类物质对杉木幼苗 <sup>15</sup>N 养分吸收、分配的影响[J]. 植物生态学报, 2002, 26(5): 525-532.
- [16] 陆景陵, 胡霭堂. 植物营养学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [17] 王 忠. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 80-110.
- [18] 田 婧, 郭世荣, 孙 锦, 等. 外源亚精胺对高温胁迫下黄瓜幼苗氮素代谢的影响[J]. 生态学杂志, 2011, 30(10): 2197-2202.
- [19] SHANGGUAN Z P, SHAO M A, REN S J, *et al.* Effect of nitrogen on root and shoot relations and gas exchange in winter wheat[J]. Botanical Bulletin of Academia Sinica, 2004, 45: 49-54.
- [20] 杨永辉, 吴普特, 武继承, 等. 冬小麦光合特征及叶绿素含量对保水剂和氮肥的响应[J]. 应用生态学报, 2011, 22(1): 79-85.
- [21] 肖 凯, 张荣铨, 钱维朴. 氮素营养调控小麦旗叶衰老和光合功能衰退的生理机制[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(4): 371-378.
- [22] 范雪梅, 姜 东, 戴廷波, 等. 不同水分条件下氮素供应对小麦植株氮代谢及籽粒蛋白质积累的影响[J]. 生态学杂志, 2006, 25(2): 149-154.
- [23] ZHU Z L. Loss of fertilizer N from plant soil system and strategies and techniques for its reduction[J]. Soil Environ Sci. 2000, 9(1): 1-6.
- [24] 张福锁. 测土配方施肥技术要览[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2006.
- [25] 吕殿青, 同延安, 孙本华, 等. 氮肥施用对环境污染影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报 1998, 4(1): 148-150.
- [26] 李世清, 李生秀. 半干旱农田生态系统的硝酸盐淋溶损失[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 240-242.
- [27] MOSIER A R, ZHU Z L. Changes in patterns of fertilizer nitrogen use in Asia and its consequences for N<sub>2</sub>O emissions from agricultural systems[J]. Nutr. Cycl. Agroecosys, 2000, 57: 107-117.
- [28] LI Y E, LIU E D. Emissions of N<sub>2</sub>O NH<sub>3</sub> and NOX from fuel combustion industrial processes and the agricultural sectors in China[J]. Nutr. Cycl. Agroecosys, 2000, 57: 99-106.
- [29] 杨建昌, 王志琴, 朱庆森. 不同土壤水分状况下氮素营养对水稻产量的影响及其生理机制的研究[J]. 中国农业科学, 1996, 29(4): 58-66.
- [30] 黄明丽, 邓西平, 白登忠. N、P 营养对旱地小麦生理过程和产量形成的补偿效应研究进展[J]. 麦类作物学报, 2002, 22(4): 74-78.
- [31] 王晓英, 贺明荣, 刘永环. 耦合对冬小麦氮肥吸收及土壤硝态氮残留淋溶的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 685-694.
- [32] 林 琪, 侯立白, 韩 伟. 不同肥力土壤下施氮量对小麦子粒产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(6): 561-567.
- [33] 王俊儒, 李生秀, 李凯丽. 冬小麦不同生育时期水分亏缺胁迫对叶片保护酶系统的影响[J]. 西北植物学报, 2001, 21(1): 47-52.
- [34] 周 毅, 郭世伟, 宋 娜, 等. 水分胁迫和供氮形态耦合作用下分蘖期水稻的光合速率、水分与氮素利用[J]. 中国水稻科学, 2006, 20(3): 313-318.
- [35] 柴卫东, 刘永平, 李洪芹, 等. 空心多茎株型短季棉施氮效应研究初报[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(3): 92-94.
- [36] 李国强, 汤 亮, 张文字, 等. 施氮量对不同株型小麦品种叶型垂直分布特征的影响[J]. 作物学报. 2011, 37(1): 127-137.
- [37] GAO Y X, LI Y, YANG X X, *et al.* Ammonium nutrition increases water absorption in rice, seedlings (*Oryza sativa* L.) under water stress[J]. Plant Soil, 2010, 331: 193-201.
- [38] 杨永春, 李中勤, 何世新. 旱地冬小麦配方肥肥效试验初报[J]. 甘肃农业科技, 2016(10): 58-61.
- [39] 赵智慧, 续创业, 尚来贵. 施肥方式对冬小麦田土壤水分变化规律的影响[J]. 甘肃农业科技, 2016(1): 38-41.
- [40] 翟丙年, 李生秀. 冬小麦水氮配合关键期和亏缺敏感期的确定[J]. 中国农业科学, 2005, 38(6): 1188-1195.

(本文责编: 陈 伟)