

闫佳,张均,马超,等. 氮素水平对冬小麦地上部分锌积累和转运的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(5):102-106.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.027

# 氮素水平对冬小麦地上部分锌积累和转运的影响

闫佳,张均,马超,黄明,李友军

(河南科技大学农学院,河南洛阳 471003)

**摘要:**为明确大田条件下小麦地上各器官中锌积累和转运特点及其对氮肥水平的响应,以西农 3517 和温麦 18 为供试材料,在 0、120、240、360 kg/hm<sup>2</sup> 等 4 个氮素水平下,测定小麦各生育时期、不同器官中的锌含量。结果表明,开花后,小麦各器官含锌量逐渐降低,变化范围为 5.76 ~ 56.42 mg/kg。其中,开花期,各器官含锌量表现为颖壳 > 穗轴 > 叶 > 茎 > 叶鞘,成熟期表现为籽粒 > 颖壳 > 穗轴 > 叶 > 叶鞘 > 茎。拔节-抽穗期与灌浆期是小麦各器官锌积累最快的时期。花后小麦各营养器官中,以颖壳和茎秆中锌积累和转运量最大,籽粒锌积累主要靠各器官再分配。施氮可以显著影响小麦锌含量、转运量和产量,且随施氮量的增加,基本呈现出先增加后降低的趋势。综合分析,以施氮肥 240 kg/hm<sup>2</sup> 为宜。

**关键词:**小麦;锌;氮肥;积累量;转运

**中图分类号:** S512.1<sup>+</sup>10.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)05-0102-04

锌是作物的必需元素,在冬小麦的生长发育中具有重要的生理生化功能<sup>[1]</sup>,且与籽粒的品质和产量也密切相关<sup>[2-3]</sup>。同时,小麦籽粒中锌的含量直接关系到人类的健康水平,缺锌可引起机体发生病变<sup>[4]</sup>。因此,提高小麦锌含量的问题急需解决。目前,通过改变农艺措施,是提高作物籽粒锌含量最有效的途径。合理施用氮肥能够促进小麦高产,对籽粒中微量元素含量也有一定影响<sup>[5]</sup>。氮肥可促进土壤酸化,土壤中锌的有效性也随之增强,有利于植株对锌的吸收和籽粒积累,高氮处理显著高于常规施氮处理,且籽粒中的氮和锌含量存在显著正相关关系<sup>[6-7]</sup>。然而,前人的研究多侧重于氮肥施用量对籽粒微量元素含量的影响,而关于不同氮肥水平对小麦各生育时期,不同器官锌的积累、分配和转运规律影响的研究鲜见报道。因此,本试验采用河南省普及较广的 2 个高锌与低锌小麦品种(系)为材料,分析不同施氮量对不同生育时期小麦植株各器官含锌量、积累量、分配和转运的调控效应,以期为提高籽粒的微量营养品质及“营养育种”提供理论参考,并根据不同小麦品种中微量元素的积累、转运状况,提出合理的施氮范围,指导农田生产。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地基本情况

田间试验于 2013—2014 年在河南科技大学农场进行。土壤为沙质壤土,土壤基础肥力为:有机质 19.9 g/kg,全氮 0.98 g/kg,碱解氮 65.27 mg/kg,速效磷 15.98 mg/kg,速效钾 120 mg/kg,有效锌 3.67 mg/kg。

收稿日期:2015-04-21

基金项目:国家自然科学基金(编号:31401323);河南省科技攻关项目(编号:102102110030);河南省洛阳市科技攻关项目(编号:1001041A)。作者简介:闫佳(1988—),女,河南安阳人,硕士研究生,研究方向为小麦栽培生理。E-mail:15138752368@139.com。

通信作者:李友军,博士,教授,研究方向为小麦栽培生理。E-mail:kdlyj@sina.com。

### 1.2 试验材料与设计

试验供试品种为西农 3517 和温麦 18(种植前采用原子吸收法对黄淮海地区普遍种植的 70 个品种的成熟期籽粒进行锌含量测定,筛选出的锌含量最高和最低的品种)。试验采用裂区设计,主区为品种,副区为施氮量,设置 4 个氮素水平,分别为 0、120、240、360 kg/hm<sup>2</sup>。共 8 个处理组合,3 次重复,随机排列,小区面积为 5 m × 2.5 m。行距 25 cm,种植密度为 240 万苗/hm<sup>2</sup>。氮肥 50% 基施,50% 在拔节期结合浇水追施,各处理均施底肥 172.5 kg/hm<sup>2</sup> K<sub>2</sub>O 和 135 kg/hm<sup>2</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>。试验田管理同一般高产田。

### 1.3 样品采集及测定

分别于越冬期、返青期、拔节期、抽穗期、开花期和成熟期在各小区按 5 点取样法取 20 株,将植株清洗干净,按叶、茎、叶鞘、穗轴、颖壳、籽粒分解,放置烘箱内于 105 ℃ 下杀青 25 min,然后在 80 ℃ 下烘干至恒质量。待冷却后使用 1/1 000 天平称各器官干质量,用于计算锌的积累量。测定各器官含锌量前须将样品粉碎过 60 目筛,用 HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub> 法消解,然后用原子吸收分光光度计测定<sup>[8]</sup>。

### 1.4 数据处理及分析方法

积累量 = 群体总干质量 × 锌含量;

转运量 = 开花期锌积累量 - 成熟期锌积累量;

吸收量 = 积累量 - 转运量。

采用 Excel 和 SPSS 统计软件进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同器官开花期和成熟期锌含量的变化

由表 1 可知,在小麦开花期,穗部含锌量最高,西农 3517 和温麦 18 均表现为颖壳 > 穗轴 > 叶 > 茎 > 叶鞘;在成熟期,籽粒中含锌量最高,2 个品种均表现为籽粒 > 颖壳 > 穗轴 > 叶 > 叶鞘 > 茎,但温麦 18 颖壳、穗轴和叶的含锌量差异未达显著水平。开花至成熟期,2 个品种各器官(除籽粒)锌含量呈逐渐下降的趋势,其中茎和颖壳锌含量下降速率较快,叶片

表 1 施氮量对开花期和成熟期小麦各器官锌含量的影响

生育期	品种	氮素处理 (kg/hm <sup>2</sup> )	各器官锌含量(mg/kg)					
			叶片	茎	叶鞘	穗轴	颖壳	籽粒
开花期	西农 3517	0	22.182c	20.766c	15.276d	31.983c	45.052d	
		120	26.188b	25.369b	23.363c	46.640a	50.727c	
		240	29.967a	29.923a	27.591a	43.871b	53.434b	
		360	30.472a	19.906d	24.926b	30.832c	55.484a	
	温麦 18	0	21.975d	16.528d	16.504d	24.699d	44.374d	
		120	26.304c	23.692b	20.130b	31.170b	54.235b	
		240	30.468a	26.525a	22.781a	36.428a	56.415a	
		360	27.147b	20.566c	19.199c	26.057c	50.055c	
成熟期	西农 3517	0	11.420d	6.946bc	7.117c	12.341d	13.247d	32.380c
		120	13.572c	7.778b	10.461b	16.412b	18.641c	33.442bc
		240	16.266b	9.825a	12.902a	19.936a	24.064b	48.089a
		360	20.688a	6.383c	13.149a	14.822c	27.763a	35.791b
	温麦 18	0	13.851c	5.760b	8.042d	13.010c	13.091c	20.533b
		120	15.741b	6.946a	10.140c	16.472b	16.800b	22.569b
		240	19.429a	7.716a	12.481a	17.724a	17.791a	25.422a
		360	16.536b	7.638a	11.758b	17.564ab	17.491a	20.434b

注:同列数据后不同小写字母表示处理间达 0.05 水平显著差异。表 2、表 3、表 4 同。

锌含量下降速率最慢,西农 3517 的下降速率分别为66.6% ~ 69.3%、50.0% ~ 70.6%、32.1% ~ 48.5%,温麦 18 的下降速率分别为 62.9% ~ 70.9%、69.0% ~ 70.5%、36.2% ~ 40.2%。

由表 1 还可看出,施氮量显著影响 2 个品种植株各器官的含锌量,随施氮量的增加,小麦植株各器官含锌量呈现先增加后减少的趋势,在 240 kg/hm<sup>2</sup> 氮素水平下达到最大值;但西农 3517 的穗轴在开花期的含锌量表现为 120 kg/hm<sup>2</sup> 处理显著高于其他处理。成熟期,温麦 18 茎、穗轴和颖壳的含锌量在 240 kg/hm<sup>2</sup> 与 360 kg/hm<sup>2</sup> 处理下无显著差异。这表明适当施用氮肥能显著提高小麦植株各器官的含锌量,尤其是籽粒的含锌量,这有利于小麦品质的提高。

2.2 小麦植株不同器官锌积累与运转

2.2.1 开花期和成熟期地上部各器官中锌的积累量 由表

2 可以看出,开花期各器官(除籽粒)锌积累量高于成熟期。在开花期,颖壳中锌积累最多,占总积累量的 28.2% ~ 38.8%,其次分别为茎、叶片、叶鞘和穗轴。成熟期各器官中锌积累量急剧下降,结果还显示,锌主要分配在籽粒中,西农 3517 和温麦 18 的籽粒锌积累量分别占总积累量的 72.6% ~ 80.9% 和 66.0% ~ 72.1%,颖壳次之,穗轴最少。

由表 2 还可看出,氮肥用量对小麦植株各器官锌积累量的影响和含量相似,在 240 kg/hm<sup>2</sup> 处理下达到峰值,继续增施氮肥则锌积累量下降。2 个品种在开花期和成熟期地上植株锌的积累总量均表现为 240 kg/hm<sup>2</sup> 处理显著高于其他处理;相对于不施氮处理而言,西农 3517 在开花期和成熟期分别提高了 111.8% 和 111.0%;温麦 18 则分别提高了 119.8% 和 85.3%,这表明施用氮肥有利于锌在小麦植株体内的积累。不同施氮量对各器官锌的积累量的增加效果因品种而异,温麦

表 2 施氮量对开花期和成熟期小麦各器官锌积累量的影响

生育期	品种	氮素处理 (kg/hm <sup>2</sup> )	各器官锌积累量(g/hm <sup>2</sup> )					
			叶片	茎	叶鞘	穗轴	颖壳	籽粒
开花期	西农 3517	0	26.321d	48.868d	20.637c	5.494c	56.016d	157.336d
		120	45.370c	84.546b	44.769b	12.540a	83.829c	271.054c
		240	62.806b	105.231a	58.580a	12.686a	93.934b	333.237a
		360	69.864a	68.820c	60.028a	8.076b	105.428a	312.216b
	温麦 18	0	29.051d	42.658c	24.035c	5.547d	64.269c	165.560c
		120	43.634c	76.152b	38.042b	9.188b	97.850b	264.866b
		240	62.105a	109.852a	52.884a	13.720a	125.390a	363.951a
		360	51.598b	75.072b	38.583b	7.763c	96.009b	269.025b
成熟期	西农 3517	0	7.384d	13.548c	7.825d	1.997c	16.174d	198.226d
		120	12.407c	21.915b	16.589c	4.084b	29.634c	263.707c
		240	17.248b	30.697a	22.310b	5.545a	40.822b	400.689a
		360	24.488a	20.666b	24.579a	3.607b	48.871a	323.382b
	温麦 18	0	11.618d	11.138c	10.173d	2.889c	19.401d	142.729c
		120	16.120c	18.717b	16.088c	4.554b	29.167c	186.262b
		240	23.748a	22.898a	24.704a	6.238a	36.787a	252.363a
		360	18.103b	19.636b	19.880b	4.936b	32.748b	184.925b

18 各器官锌的积累量均在 240 kg/hm<sup>2</sup> 处理下达到最高,西农 3517 叶片、叶鞘和颖壳则表现为 360 kg/hm<sup>2</sup> 处理 > 240 kg/hm<sup>2</sup> 处理 > 120 kg/hm<sup>2</sup> 处理 > 不施氮处理,且各处理间差异达显著水平(除开花期叶鞘),茎、颖壳和籽粒中锌积累量以 240 kg/hm<sup>2</sup> 处理最高。

2.2.2 地上部各器官中锌的吸收及转运 由表 3 可知,2 个品种锌的转运量在植株各器官间的变化规律基本一致,具体表现为:茎和颖壳的锌转运量较大,叶片、叶鞘和穗轴依次递减。温麦 18 各器官均以 240 kg/hm<sup>2</sup> 处理最高,叶、茎、叶鞘、穗轴、颖壳的转运量较不施氮分别提高了 120.0%、175.9%、103.3%、181.5%、97.5%。西农 3517 穗轴中锌转运量在 120 kg/hm<sup>2</sup> 处理下最高;而 120、240、360 kg/hm<sup>2</sup> 等 3 个氮肥

处理对颖壳的影响差异不显著,但均显著高于不施氮处理;叶片、茎和叶鞘中均以 240 kg/hm<sup>2</sup> 最高。施氮处理对锌的转运总量均显著高于不施氮处理,在西农 3517 中表现为 240 kg/hm<sup>2</sup> 处理 > 360 kg/hm<sup>2</sup> 处理 > 120 kg/hm<sup>2</sup> 处理 > 不施氮,较不施氮处理分别提高了 96.2%、72.1%、68.9%;温麦 18 则表现为 240 kg/hm<sup>2</sup> 处理 > 120 kg/hm<sup>2</sup> 处理 > 360 kg/hm<sup>2</sup> 处理 > 不施氮,较不施氮处理分别提高了 126.2%、63.3%、57.4%。由表 3 还可看出,温麦 18 器官总转运量和对籽粒贡献率高于西农 3517,但是西农 3517 籽粒中锌的积累量较高,这是因为开花后西农 3517 对锌的吸收量高于温麦 18。

表 3 施氮量对小麦各器官锌转运的影响

品种	氮素处理 (kg/hm <sup>2</sup> )	不同器官锌的转运量(g/hm <sup>2</sup> )						成熟期籽粒积累量 (g/hm <sup>2</sup> )	贡献率 (%)	开花后吸收量 (g/hm <sup>2</sup> )
		叶片	茎	叶鞘	穗轴	颖壳	合计			
西农 3517	0	18.937c	35.320d	12.812c	3.497d	39.842c	110.408c	32.380c	55.684b	134.745c
	120	32.962b	62.631b	28.180b	8.455a	54.194ab	186.422b	33.442bc	71.065a	161.915c
	240	45.559a	74.534a	36.271a	7.141b	53.112b	216.617a	48.089a	54.098b	300.694a
	360	45.376a	48.155c	35.449a	4.468c	56.557a	190.004b	35.791b	58.799b	255.588b
温麦 18	0	17.432d	31.520c	13.863d	2.658c	44.868c	110.341c	20.533b	77.513b	87.608b
	120	27.514c	57.435b	21.954b	4.634b	68.683b	180.219b	22.569b	96.971a	90.689ab
	240	38.357a	86.954a	28.180a	7.482a	88.602a	249.575a	25.422a	98.992a	117.163a
	360	33.495b	55.435b	18.703c	2.826c	63.261b	173.720b	20.434b	94.050a	106.509ab

2.2.3 施氮量对小麦地上部植株锌总积累量的影响 由图 1 可知,小麦地上植株锌总积累量随生育时期的推进呈现出逐渐升高的趋势,越冬期锌积累量最低,拔节期以后上升幅度较大,且上升趋势因品种而异。西农 3517 在拔节期至抽穗期以及灌浆期锌积累速率较快,抽穗至开花期增长平缓,在越冬—返青期、返青—拔节期、拔节—抽穗期、抽穗—开花期和

灌浆期,地上部锌总积累量分别占整个生育期锌积累量的 1.9%~3.0%、5.3%~7.9%、4.7%~12.5%、2.7%~6.0%、7.3%~13.6%。温麦 18 自拔节期至开花前锌总积累量增长迅速,占整个生育期锌积累量的 16.5%~21.6%,开花后锌积累量与开花期无显著差异。

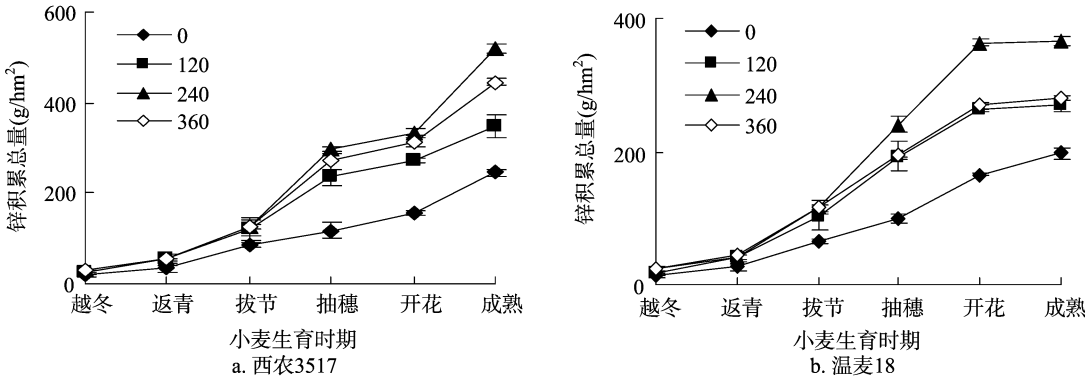


图1 施氮量对 2 个小麦品种不同生育时期地上植株锌总积累量的影响

不同施氮量间相比较,施氮均有利于 2 个小麦品种地上部各器官锌总积累量的增加,且均在 240 kg/hm<sup>2</sup> 处理作用下锌积累量最高。在苗期至拔节期,各施氮处理间无显著差异。拔节期以后,不同施氮量对西农 3517 的作用差异较明显,表现为 240 kg/hm<sup>2</sup> 处理 > 360 kg/hm<sup>2</sup> 处理 > 120 kg/hm<sup>2</sup> 处理,且在拔节期后各时期锌积累总量分别比不施氮增加了 111.0%~151.2%、81.8%~132.3%、42.1%~99.4%。温麦 18 表现为在拔节期后 240 kg/hm<sup>2</sup> 处理下锌积累量最高,拔节期后各生育时期锌积累总量分别比不施氮处理增加了 141.6%、119.8%、85.3%。

2.3 施氮量对小麦产量及产量构成因素的影响

由表 4 可得出,施用氮肥可提高小麦产量,且氮肥用量对产量存在显著影响,西农 3517 各处理产量表现为 240 kg/hm<sup>2</sup> 处理 > 120 kg/hm<sup>2</sup> 处理 > 360 kg/hm<sup>2</sup> 处理 > 不施氮处理,分别较不施氮提高了 33.8%、22.4%、17.6%。就温麦 18 而言,240、120、360 kg/hm<sup>2</sup> 处理的产量较不施氮处理分别提高了 17.0%、7.2%、9.6%。由此可知,西农 3517 各氮肥处理较不施氮产量增长率高于温麦 18。分析产量构成因素可看出,2 个品种的千粒质量均在 120 kg/hm<sup>2</sup> 处理下达到最大值,且显著高于其他处理。西农 3517 穗数随施氮量的增加而增

加,但 240 kg/hm<sup>2</sup> 处理和 360 kg/hm<sup>2</sup> 处理间差异不显著,穗粒数则在 240 kg/hm<sup>2</sup> 处理下最多,显著高于其他处理。温麦 18 的穗数和穗粒数均在 240 kg/hm<sup>2</sup> 处理下达到最大值,分别较不施氮提高 32.1%、15.6%。

表 4 施氮量对小麦产量及产量构成因素的影响

品种	氮素处理 (kg/hm <sup>2</sup> )	穗数 (万穗/hm <sup>2</sup> )	穗粒数 (粒/穗)	千粒质量 (g)	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
西农 3517	0	367.50c	33.74b	44.21b	6 158.33c
	120	468.33b	33.95b	48.88a	7 536.67b
	240	487.50ab	37.40a	44.68b	8 241.67a
	360	520.00a	33.08b	44.67b	7 240.00b
温麦 18	0	350.83c	32.46b	46.10c	6 600.00c
	120	407.50b	37.66a	49.62a	7 075.00bc
	240	463.33a	38.47a	48.71b	7 725.00a
	360	446.67a	32.42b	48.09b	7 233.33ab

### 3 结论与讨论

锌是关乎人体健康和植株正常生长发育的重要元素,锌含量与小麦产量和籽粒的营养品质密切相关<sup>[9]</sup>。前人研究指出,小麦植株中的锌含量约在 6 mg/kg 以上<sup>[10]</sup>;本研究发现,从开花到成熟期,各器官的锌含量在 5.76 ~ 56.42 mg/kg 之间,与前人报道的 4.14 ~ 54.18 mg/kg<sup>[12]</sup> 的范围大体一致。本研究结果表明,花后小麦穗部含锌量最高,开花期体现在颖壳上,成熟期则以籽粒含量最高,这可能是由于锌主要存在于生理活性较高的器官中。有研究表明,小麦植株各营养器官锌含量随生长发育的进程而递减<sup>[11]</sup>,本试验也发现小麦各器官除籽粒外其含锌量从开花期至成熟期呈下降趋势,这可能由于锌属于可移动元素,可以从衰老器官转移至生长旺盛的部位,且开花后随着灌浆进程,营养器官不断将同化物运输至籽粒。

小麦锌含量与品种及施肥也有关。有研究指出,施用氮肥后,显著提高了各基因型小麦植株的锌含量,且各基因型间存在显著差异<sup>[12]</sup>。适量施氮可以提高籽粒微量元素含量,但超过一定施氮量,籽粒微量元素含量反呈下降趋势<sup>[13]</sup>。由本试验可看出,2 个品种营养器官的锌含量差别不大,但成熟期西农 3517 籽粒含锌量显著高于温麦 18,这可能是由品种基因型差异所造成的。本试验还表明,施用氮肥能够显著提高植株锌含量,在适当氮肥用量范围内,锌含量随施氮量的增加而提高,240 kg/hm<sup>2</sup> 氮肥处理下植株各器官锌含量显著高于其他处理。

锌元素在植物体内的分布情况可以反映出微量元素从土壤到籽粒的转运情况。Lavado 等研究指出,植株各器官锌的积累量一般表现为根部 > 籽粒 > 茎和叶<sup>[14]</sup>。小麦锌的总积累量为 384.9 ~ 475.9 g/hm<sup>2</sup>,各器官锌的积累量、转运量和对籽粒贡献率均表现为叶片 > 穗 > 叶鞘 > 茎秆,且籽粒锌的积累主要依靠各器官的转运<sup>[15]</sup>。但韩金玲等却研究指出,在小麦开花期和成熟期各器官锌的积累量和花后锌的转运量均表现为茎秆 > 穗壳 > 叶片<sup>[10]</sup>,本研究与之不尽相同。经试验发现,随着籽粒灌浆,锌含量不断由各营养器官转运至籽粒中,其干物质质量逐渐降低,这导致成熟期各器官锌的积累量减少。各器官锌的积累量、转运量及对籽粒贡献率因品种而异,但总

转运量无明显差异。小麦在拔节期后迅速积累锌,西农 3517 在拔节期至抽穗期和灌浆期增长较快,温麦 18 快速增长期则在拔节期至开花期,2 个品种小麦锌总积累量分别为 245.2 ~ 517.3、197.9 ~ 366.7 g/hm<sup>2</sup>。这与前人研究的在整个生育阶段小麦地上部吸锌规律基本一致。邵云等研究发现,小麦生长旺盛期吸锌能力大于非旺盛期,且拔节期至抽穗期和灌浆期是小麦锌吸收量最大和吸收速率最快的 2 个时期<sup>[16]</sup>。

有研究发现,单施氮肥可显著提高小麦对锌的吸收,尤其体现在叶和茎部<sup>[17]</sup>。增施氮肥还可促进小麦地上部各器官中锌向籽粒的转移,有利于籽粒中锌的积累<sup>[18]</sup>。籽粒中氮和锌的含量呈显著正相关,氮肥的用量对小麦产量和植株对锌、氮的吸收和积累有显著影响,高氮处理优于常规施氮处理<sup>[7]</sup>。本研究发现,各器官锌的积累量、转运量、对籽粒贡献率和锌的总积累量均与施氮量呈正相关关系,这可能由于氮是参与吸收、转运锌的各类酶的重要组成成分,增施氮肥促进了这些酶的合成。经综合分析可知,240 kg/hm<sup>2</sup> 氮肥施用量效果显著高于其他处理,能够普遍满足各器官的需求。

于振文等研究发现,随施氮量的增加,籽粒产量呈先升高后下降的趋势<sup>[19]</sup>。适当提高氮素水平,可提高源器官碳素、氮素的同化能力,又可促进开花前各营养器官暂贮的同化物向籽粒转运,增加籽粒中淀粉合成有关酶、氮素同化酶的活性,从而导致小麦籽粒产量和蛋白质含量同步增加<sup>[20]</sup>。本研究表明,产量和产量构成因素(除穗粒数)均表现出氮肥处理显著高于不施氮处理,且 240 kg/hm<sup>2</sup> 处理的效果最好。因此,240 kg/hm<sup>2</sup> 氮肥处理可供西农 3517 和温麦 18 在生产上作参考。

### 参考文献:

- [1] Seilsepour M. Study of zinc effects on quantitative and qualitative traits of winter wheat in saline soil condition [J]. Desert Journal, 2006, 11(2): 17 - 23.
- [2] 王树安. 作物栽培学各论 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 40 - 44.
- [3] Kutman U B, Yildiz B, Cakmak I. Effect of nitrogen on uptake, remobilization and partitioning of zinc and iron throughout the development of durum wheat [J]. Plant and Soil, 2011, 342(1/2): 149 - 164.
- [4] 刘建臣, 唐志华. 微量元素与人体健康 [J]. 西部资源, 2013, 7(5): 73.
- [5] 姜丽娜, 郑冬云, 蒿宝珍, 等. 氮肥对小麦不同品种籽粒微量元素含量的影响 [J]. 西北农业学报, 2009, 18(6): 97 - 102.
- [6] 杨丽娟, 李天来, 付时丰, 等. 长期施肥对菜田土壤微量元素有效性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 2(4): 549 - 553.
- [7] 郭九信, 廖文强, 凌 宁, 等. 氮钾配施对小麦产量及氮钾含量的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2013, 36(2): 77 - 82.
- [8] 张会民, 刘红霞. 土壤与植物营养实验实习教程 [M]. 杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2004.
- [9] 蒿宝珍, 姜丽娜, 李春喜, 等. 小麦锌营养效率的研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(25): 7756 - 7758.
- [10] 韩金玲, 李雁鸣, 马春英, 等. 施锌对小麦开花后氮、磷、钾、锌积累和运转的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 313 - 320.
- [11] 杨建堂, 王文亮, 王 岩, 等. 高产冬小麦锌素吸收分配特点的研究 [J]. 土壤通报, 1997, 28(3): 29 - 31.

宁金花, 张艳贵, 解娜, 等. 早粳品种湘早粳45号孕穗期淹涝胁迫试验[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(5): 106–111.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.028

# 早粳品种湘早粳45号孕穗期淹涝胁迫试验

宁金花<sup>1,4</sup>, 张艳贵<sup>1</sup>, 解娜<sup>1</sup>, 陆魁东<sup>2,4</sup>, 霍治国<sup>3</sup>, 黄晚华<sup>2,4</sup>

(1. 湖南省长沙农业气象试验站, 湖南长沙 410125; 2. 湖南省气象科学研究所, 湖南长沙 410007;

3. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 4. 气象防灾减灾湖南省重点实验室, 湖南长沙 410118)

**摘要:**利用湘早粳45号常规水稻品种孕穗期淹涝胁迫数据, 分析了不同淹涝深度和时间下水稻形态差异性, 并基于不同淹涝深度, 建立株高、绿叶数、卷叶长度、高位分蘖、茎长等形态特征值与淹涝持续时间模型。结果表明: 相同淹涝深度下, 涝渍持续时间与株高变化率、绿叶数变化率、卷叶长度、高位分蘖率、总茎节长度呈二次曲线关系。不同淹涝深度之间淹涝结束后0 d株高变化率差异不大, 淹涝结束后5 d差异明显。淹涝结束后0 d, 淹涝深度越浅水稻绿叶数变化越明显。1/2淹与2/3淹处理下, 淹涝持续时间5 d以内, 高位分蘖茎主要发生在倒1茎节; 淹涝时间5 d以上, 倒1、2茎节均发生高位分蘖的频率较高。随着淹涝深度的增加, 倒1、倒3茎节长度呈缩短趋势, 倒2茎节呈伸长趋势, 总茎节长度呈缩短趋势。

**关键词:**水稻; 淹涝胁迫; 株高; 绿叶数; 卷叶长度; 高位分蘖; 茎节长度

**中图分类号:** S511.2<sup>+</sup>10.3; S422 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)05-0106-06

洪涝是人类面临的最严重的自然灾害之一, 在我国南方主要稻区, 稻田多分布于丘陵地带的江河谷地、平原湖地, 在水稻生产季节常发生洪涝灾害, 已成为制约水稻生产的主要生态逆境因子之一<sup>[1]</sup>。研究水稻在不同淹涝环境下茎、叶形态的变化特点, 对于明确不同淹涝环境下水稻形态特征具有深远意义。Middelboe等指出, 水淹植物对光的需求与其自身的形态紧密相关, 在全淹的环境中, 植物为了适应光强减弱, 会产生响应, 如改变叶片形态<sup>[2]</sup>。Enríquez等指出, 叶片通过改变光学路径来调节植物的吸光效率<sup>[3]</sup>。Ruiz等指出, 植物根据周围的光环境改变叶片形态使其更有利于光合作用的进行<sup>[4]</sup>。没有节间的水稻幼苗在部分淹水时, 主要通过提高顶部2张叶和叶鞘伸长能力完成<sup>[5]</sup>。部分淹水的深水稻节间伸长, 植株长高。在营养生长阶段, 淹涝环境对水稻的典型伤害是消耗已积累的干物质, 当水稻植株完全淹没, 氧、二氧化碳的供应变得有限, 水稻植株以无氧呼吸为主, 会导致能源急剧

消耗<sup>[6]</sup>。淹涝环境下, 由光照减弱造成植株叶片形态的改变包括叶片伸长<sup>[7-8]</sup>、增宽以及叶面积改变等<sup>[9-10]</sup>。淹涝胁迫可促进水稻根系木质化、栓质化, 减少根中O<sub>2</sub>径向泄漏, 增加根尖O<sub>2</sub>浓度<sup>[11]</sup>。淹涝可引起叶片可溶性糖、淀粉、总糖含量下降<sup>[12]</sup>。水稻孕穗期和乳熟期没顶淹水胁迫处理后, 孕穗期叶绿素含量明显降低<sup>[13-15]</sup>。有学者对水稻高位分蘖也进行了相关研究<sup>[16]</sup>。虽然前人关于淹涝胁迫对水稻影响方面作了很多研究, 但都是针对叶片、叶鞘、茎等某一个或几个形态特征因子, 或是从生理特性、产量结构进行研究, 从绿叶、卷叶、茎、株高等多个形态特征因子, 较全面、系统地分析淹涝胁迫对常规稻孕穗期影响研究相对较少。笔者在前人研究的基础上, 从茎、叶等主要形态特征着手, 探讨不同淹涝胁迫环境下常规稻孕穗期形态变化特点, 明确不同淹涝环境下常规稻的适应机制, 旨在为长江中下游地区水稻的选种、育种提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点

试验地点位于湖南省长沙农业气象试验站(113°05'E, 28°12'N, 海拔44.9 m), 属于亚热带季风性湿润气候, 气候温

收稿日期: 2015-03-23

基金项目: 国家科技支撑计划(编号: 2012BAD20B02)。

作者简介: 宁金花(1979—), 女, 江苏徐州人, 硕士, 高级工程师, 主要从事农业气象研究。E-mail: jinhua1981428@163.com。

[12] 杨习文, 田霄鸿, 武绍飞, 等. 不同基因型冬小麦对氮肥与锌铁肥配施的反应[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(3): 17–22.

[13] 方保停, 张胜全, 王敏, 等. 节水栽培条件下冬小麦籽粒微量元素和蛋白质含量对施氮的反应[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(1): 97–101.

[14] Lavado S, Porcelli C A, Alvarez R. Nutrient and heavy metal concentration and distribution in corn, soybean and wheat as affected by different tillage systems in the Argentine Pampas[J]. Soil Tillage Res, 2001, 62(1/2): 55–60.

[15] 党红凯, 李瑞奇, 孙亚辉, 等. 高产冬小麦对锌的吸收、积累与分配[J]. 中国农业科学, 2010, 43(9): 1791–1799.

[16] 邵云, 姜丽娜, 李春喜, 等. Zn在小麦植株中吸收、分配和累积的动态变化规律[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(1): 82–85.

[17] 陆欣春, 田霄鸿, 杨习文, 等. 氮锌配施对不同冬小麦品种产量及锌营养的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(5): 923–928.

[18] 常红, 周鑫斌, 于淑慧, 等. 小麦氮锌配施效应研究[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2013, 35(11): 49–53.

[19] 于振文, 潘庆民, 姜东, 等. 9 000 kg/hm<sup>2</sup>小麦施氮量与生理特性分析[J]. 作物学报, 2003, 29(1): 37–43.

[20] 王月福, 姜东, 于振文, 等. 氮素水平对小麦籽粒产量和蛋白质含量的影响及其生理基础[J]. 中国农业科学, 2003, 36(5): 513–520.