

栽培管理模式对冬小麦干物质积累、 氮素吸收及产量的影响*

马迎辉 王玲敏 叶优良** 朱云集

(河南农业大学资源与环境学院 郑州 450002)

摘 要 为给小麦栽培管理提供指导,连续两个小麦生长季在河南省温县通过大田试验研究了农民习惯栽培(T1)、优化管理 1(T2)、高产栽培管理(T3)、优化管理 2(T4)4 种栽培管理模式对冬小麦干物质积累、转运和氮素吸收、分配以及产量的影响。结果表明,与 T1 相比,T2 通过基肥和拔节期追肥 2 次施肥,提高了干物质快速增长的时间和速率,增加了籽粒中干物质的积累和茎叶氮素向籽粒的转运,提高了穗粒数和粒重,从而达到产量和效率的提高;与 T3 相比,T4 减少了氮磷钾用量,通过提高花后叶片中氮素的转运量和对籽粒的贡献率来增加粒重,在不降低产量的同时提高了养分效率。T3、T4 模式与 T1、T2 模式相比,提高了干物质快速增长的时间和速率以及花后小麦茎叶贮存氮素向籽粒的转运量和对籽粒的贡献率。在本试验条件下,T2 模式是目前生产情况下值得推广的优化栽培模式,T4 模式是在产量进一步提高,达到高产条件下兼顾高产高效的最优栽培管理模式。

关键词 栽培管理模式 冬小麦 干物质 氮素 产量

中图分类号: S512.1+1 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2012)10-1282-07

Effects of different cultivation management modes on dry matter accumulation, nitrogen uptake and yield of winter wheat

MA Ying-Hui, WANG Ling-Min, YE You-Liang, ZHU Yun-Ji

(College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract The effects of different cultivation management modes on dry matter accumulation, distribution, nitrogen (N) uptake, N use efficiency (NUE) and yield of winter wheat in Henan Province were investigated in a field experiment in Wenxian County in 2009—2011. The experiments aimed to provide theoretical basis for cultivation management mode of winter wheat in the Wenxian region of Henan Province. The four different cultivation management modes used were conventional management (T1, conventional management mode in the region), optimized management mode 1(T2), high-yield management (T3), optimized management mode one the base of T3 (T4). Compared with T1, T2 with fertilizer applications at basal and jointing stages enhanced time and rate of rapid dry matter accumulation, grain dry matter accumulation, stem and leaf N transport to grain and per-ear grain and kernel weight. This resulted in higher output and efficiency. Also compared with T3, T4 reduced fertilizer dose, increased grain weight by improving N translocation amount and contribution rate to grain of leaves after anthesis and maintained grain yield while improving nutrient efficiency. Compared with treatments T1 and T2, T3 and T4 improved rapid dry matter accumulation and N translocation from stem and leaf storage to grain after anthesis. Based on the results, T2 was worthy cultivation mode under the present production management conditions. Treatment T4 was both the high-yield and high-efficiency cultivation management mode under high-yield conditions.

Key words Cultivation management mode, Winter wheat, Dry matter, Nitrogen, Yield

(Received Mar. 13, 2012; accepted Jul. 9, 2012)

* 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2009CB1186006)、河南省高校科技创新人才支持计划(2010HASTIT034)和农业部公益性行业科研专项(201103003)资助

** 通讯作者: 叶优良(1968—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为养分资源管理。E-mail: ylye2004@163.com

马迎辉(1985—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为养分资源管理。E-mail: mayinghui6@126.com

收稿日期: 2012-03-13 接受日期: 2012-07-09

河南省是我国冬小麦主产区,播种面积和产量均占全国 1/4 左右^[1],虽然近年来小麦单产记录不断刷新,6.7 hm² 单产达 11 278.5 kg·hm⁻²,667 hm² 单产达 10 359 kg·hm⁻²,但河南省小麦平均单产仅为 5 838 kg·hm⁻²,只有高产记录的一半^[2]。在追求高产的同时,肥料用量也在骤增,如山东省恒台县和河南省温县,小麦玉米轮作周期的施氮量分别为 652 kg·hm⁻² 和 587 kg·hm⁻²,远远高于根据已有试验结果和专家推荐的肥料用量,每年仅在小麦上造成的肥料浪费就高达 40 万 t^[3],因此提高小麦单产和肥料利用率对于保障国家粮食安全具有非常重要的意义。水肥管理和栽培技术是影响小麦产量的关键因素^[4],而小麦生产中农民习惯仍采用“大水大肥”的栽培管理方式,氮肥全部用作基肥的占调查样本的 54.44%^[5],在习惯施肥情况下,氮肥利用率仅为 28.7% 左右,磷肥当季利用率为 13.1%,钾肥当季利用率也只有 27.3%^[6];而超高产小麦栽培中的高化肥投入,除其增产效益越来越低外,还产生了严重的环境问题^[1],导致肥料浪费和经济损失^[7-9]。而前人关于不同栽培模式对小麦的研究则集中在施肥、种植密度和品种等单一因素的研究^[10-11],关于栽培模式集成的多因素综合研究则鲜有报道。因此,为了寻找理想的栽培管理模式,实现小麦产量和养分效率的协同提高,本研究试图把当前普遍存在的农民习惯栽培管理模式、高产栽培管理模式与两种在此基础上优化的水肥管理模式进行比较,探讨不同栽培管理模式下小麦干物质、氮素积累分配及产量构成因素变化,以明确不同栽培模式的增产效应及机制,为实现优质、高产、高效和可持续的小麦生产提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料与试验设计

试验于 2009—2011 年在河南省温县祥云镇进行,该区位于北纬 34°92′,东经 112°99′,属暖温带半湿润季风气候(生育时期积温和降雨量见图 1)。土壤类型为潮土,质地为黏土,播前 0~20 cm 的土壤 pH 为 7.8、全氮为 1.04 g·kg⁻¹、有机质含量为 18.3 g·kg⁻¹、速效磷为 17.3 mg·kg⁻¹、速效钾为 129.9 mg·kg⁻¹,0~90 cm 土层无机氮为 169.3 kg·hm⁻²。种植方式为小麦—玉米轮作,秸秆全部还田。试验共设 4 种栽培管理模式(表 1),分别为农民习惯栽培模式(T1)、相对于农民习惯模式的优化管理 1 模式(T2)、高产模式(T3)和相对于高产模式的优化管理 2 模式(T4)。试验小区面积为 200 m²,重复 4 次。供试小麦品种为“平安 8 号”,2009—2010 年度 10 月 15 日播种,2010—

2011 年度 10 月 11 日播种,其中有机肥氮磷钾含量分别为 0.9%、0.6%和 0.83%,磷钾肥料全部底施。农民习惯播种量、施肥量和灌水量以及栽培管理模式通过区域内的农户调查来确定,代表了该地区农民平均施肥量和灌水量,高产管理为国家粮食丰产科技工程高产攻关管理模式。

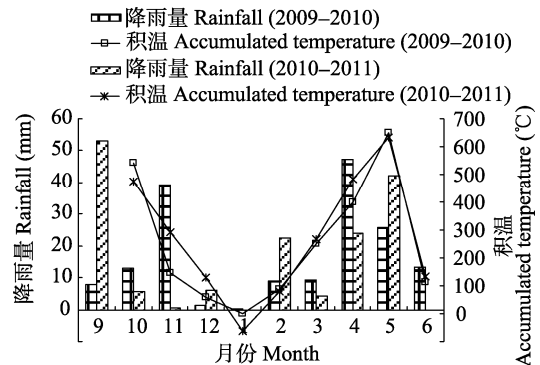


图 1 2009—2011 年试验区河南省温县小麦生育期间月积温和降雨量

Fig. 1 Monthly rainfall and accumulated temperature during wheat growing season from 2009 to 2011 in the experiment area at Wenxian County, Henan Province

1.2 样品采集与处理

分别在苗期、返青期、拔节期、开花期、灌浆期和成熟期采集植株样品,在小区内随机选取 20 株均匀一致具有代表性的小麦植株,在开花和成熟期分茎秆、叶、籽粒、颖壳采样,样品取回后分别装入信封于 105 °C 杀青 30 min,70 °C 烘干至恒重,凯氏定氮法测定全氮。成熟时各小区实收 10 m² 计产,每处理取 10 株按常规考种分析。

1.3 计算方法

花后干物质转运量=开花期植株干物质/氮素—

成熟期植株干物质/氮素(不包括籽粒) (1)

花后氮素转运量=开花期植株氮素—成熟期植株氮素
(不包括籽粒) (2)

花后干物质转运率=(干物质转运量/
开花期植株干物质质量)×100% (3)

花后转运干物质(氮素)对籽粒贡献率=
(干物质转运量/籽粒产量)×100% (4)

花后干物质(氮素)积累量=成熟期干物质积累量—
开花期干物质积累量 (5)

花后氮贡献率=(花后氮积累量/
籽粒氮积累量)×100% (6)

某营养器官氮素转运量=开花期该营养器官氮素积累量—
成熟期该营养器官氮素积累量 (7)

某营养器官转运氮对籽粒氮的贡献率=该营养器官
氮转运量/籽粒氮积累量×100%^[12] (8)

肥料偏生产力=施肥区产量/施肥量^[13] (9)

1.4 数据处理

试验数据采用 Excel、SAS 进行数据计算、绘图与统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥管理模式对小麦干物质累积和分配的影响

2.1.1 干物质累积

从越冬(出苗后 59 d)到收获的干物质累积量用 Logistic 方程 $Y=c/(1+e^{a+bt})$ (其中 c 为最大累积量上

限, a 、 b 为常数)拟合表示(表 2), 不同生育期模型的相关系数均达极显著水平。从干物质累积曲线相关参数可以看出, T2、T3、T4 模式的干物质增长速率和干物质快速增长的持续时间都显著大于 T1 模式, 分别比 T1 模式增加 1.62%~76.7%、4~10 d(2009—2010 年)和 42.63%~72.60%、11~17 d(2010—2011 年), 且 T3、T4 模式也明显大于 T1、T2 模式; T2 模式施肥量虽然小于 T1 模式, 但 T2 模式是分基肥和拔节期追肥两次施肥, 其干物质增长速率显著高于 T1 模式, 且持续时间比 T1 模式增长 4 d 和 11 d, 避免了 T1 模式由于一次性施肥导致的后期供肥不足、快速

表 1 试验处理及设置
Table 1 Experiment treatment and design

项目 Item	施肥及灌水 Fertilization and irrigation	处理 Treatment			
		农民习惯 Conventional management (T1)	优化管理 1 Optimized management 1 (T2)	高产管理 High-yield management (T3)	优化管理 2 Optimized management 2 (T4)
耕作技术 Cultivation technique		旋耕后耙压、播后不镇压 Rotary tillage and harrow pressure, not compact after seeding	深耕 25 cm, 精细整地, 播后镇压 Deep plowing to 25 cm, fine soil preparation and compact after seeding	深耕 25 cm, 精细整地, 播后镇压 Deep plowing to 25 cm, fine soil preparation and compact after seeding	深耕 25 cm, 精细整地, 播后镇压 Deep plowing to 25 cm, fine soil preparation and compact after seeding
播量 Seeding rate (kg·hm ⁻²)		187.5	150	120	120
施肥量 Fertilizing amount (kg·hm ⁻²)	N	225	180	300	240
	P ₂ O ₅	75	75	150	90
	K ₂ O	60	60	150	90
	ZnSO ₄	0	0	15	15
	有机肥 Organic fertilizer	0	0	3 000	3 000
施肥技术 Fertilizing technique	N	全部底施 Basal fertilization	基追比为 1 : 1 1 : 1 of basal : dressing at jointing fertilizations	基追比为 1 : 1 1 : 1 of basal : dressing at jointing fertilizations	基追比为 1 : 1 1 : 1 of basal : dressing at jointing fertilizations
灌水量 Irrigation amount (m ³ ·hm ⁻²)	蒙头水 Irrigation after sowing	900	600	600	600
	返青起身水 Irrigation at regreening	900	—	—	—
	拔节水 Irrigation at jointing	—	900	900	600
	开花灌浆水 Irrigation at anthesis	900	900	900	600

表 2 不同栽培管理模式对小麦干物质积累方程及相关参数的影响

Table 2 Effects of cultivation management modes on Logistic equations and their parameters of wheat dry matter accumulation

年份 Year	处理 Treatment	方程 Equation	t_0	t_1	t_2	V_m	R^2	F	Δt
2009— 2010	T1	$y=6.18/[1+e^{(7.6-0.05t)}]$	154	127.0	179.9	3.09d	0.864	25.41**	53
	T2	$y=6.29/[1+e^{(7.50-0.047t)}]$	161	132.7	189.2	3.14c	0.869	26.53**	57
	T3	$y=10.92/[1+e^{(7.10-0.042t)}]$	169	137.7	200.4	5.46a	0.889	32.04**	63
	T4	$y=10.35/[1+e^{(7.42-0.046t)}]$	162	133.5	191.2	5.17b	0.879	29.06**	58
2010— 2011	T1	$y=5.37/[1+e^{(4.35-0.03t)}]$	140	97.8	182.8	2.69c	0.839	20.84**	85
	T2	$y=7.66/[1+e^{(4.29-0.03t)}]$	156	108.1	203.9	3.83b	0.858	24.17**	96
	T3	$y=9.19/[1+e^{(4.27-0.03t)}]$	165	114.4	216.5	4.59a	0.844	21.64**	102
	T4	$y=9.27/[1+e^{(4.27-0.03t)}]$	167	115.6	218.9	4.63a	0.860	24.57**	103

t 为小麦出苗后的天数(d), y 为小麦干物质累积量(g·株⁻¹), t_0 为干物质积累最大速率出现的时间, t_1 和 t_2 分别为 Logistic 生长曲线的两个拐点, V_m 为干物质最大增长速率, $F(1, 4)_{0.05}=7.71$, Δt 为快速增长的持续期。 t is days after emergence (d), y is wheat dry matter accumulation amount (g·plant⁻¹), t_0 is days of the maximum dry matter accumulation rate occurred, t_1 and t_2 are two inflexion points of Logistic equation, V_m is the maximum increase rate of dry matter accumulation. $F(1, 4)_{0.05}=7.71$, Δt is the duration of the fast growth.

增长时间开始和结束早、后期干物质生长受到抑制等问题。T4 模式虽然施肥量比 T3 模式明显减少, 但两年干物质快速增长的持续时间没有显著差异, 而增长速率两年不一致。与 T1 模式相比, T3、T4 模式施肥量增加, 施肥方式改为两次施肥, 干物质快速增长的时间和速率均显著增大, 持续时间比 T1 模式增长 10~18 d。

2.1.2 花后干物质转运和对籽粒的贡献率

增加花前积累干物质花后向籽粒的转移, 有利于获得较高的籽粒产量^[14]。从表 3 可以看出, 两年小麦花后转运量和转运率均表现为 T2、T3、T4 模式显著大于 T1 模式, 但 2009—2010 年 T3、T4 模式转运量没有明显差异, 2010—2011 年 T2、T3、T4 模式之间没有明显差异, 说明在 T3、T4 栽培模式下, 花后干物质转运量以及转运率已经无明显差异。

2.1.3 成熟期干物质分配

从表 4 可以看出, 成熟期干物质的分配量比例分别为籽粒>茎>颖壳>叶。4 种模式比较来看, 以 T1 模式的籽粒分配率最低, 茎、叶、颖壳中的分配率相对较高, 而 T4 模式籽粒分配率较高, 茎、叶中的分配率较低。2009—2010 年, 与 T1 模式相比, T2 模式籽粒分配率增加 9.28%, 叶和颖壳中的分配率减少 10.16%和 1.37%; 与 T3 模式相比, T4 模式籽粒和颖壳中的分配率分别增加 1.68%和 15.56%, 茎和叶中的分配率分别减少 6.74%和 2.67%。2010—2011

年, 与 T1 模式相比, T2 模式籽粒分配率增加 10.42%, 茎和叶中的分配率减少 13.01%和 14.44%; 与 T3 模式相比, T4 模式籽粒和颖壳中的分配率分别增加 2.47%和 6.43%, 茎和叶中的分配率分别减少 4.44%和 8.84%。说明 T1 模式下, 干物质更多地向茎叶运输, 籽粒干物质转移较低, 导致穗重下降。T3、T4 模式茎秆与叶片干重比例相当, T4 模式籽粒生物量积累稍占优势, 从而使得小麦个体生长稳健, 群体分布合理, 有利于协调营养生长与生殖生长的矛盾, 在保证充足同化物合成与积累的前提下, 促进物质向生殖器官转移, 构成产量优化, 产量和生产效率提高。

2.2 不同管理模式对氮素累积和分配的影响

2.2.1 花后氮素转运量和对籽粒的贡献率

从表 5 可以看出, 两年的花后氮素转运量均表现为 T3、T4 模式茎秆、叶片转运量和对籽粒的贡献率高于 T1、T2 模式, 但 T3、T4 模式之间没有显著差异。2009—2010 年, 与 T1 模式相比, T2 模式的茎秆、叶片和颖壳的氮素转运量增加 14%、25.1%和 29.3%, 叶片对籽粒的贡献率显著大于 T1 模式, 茎秆和颖壳之间没有显著差异; 与 T3 模式相比, T4 模式茎秆、叶片对籽粒的贡献率均提高。2010—2011 年, T3、T4 模式茎秆、叶片、颖壳的氮素转运量和贡献率均大于 T1、T2 模式, 与 T1 模式相比, T2 模式的茎秆、叶片和颖壳的氮素转运量增加 8.4%、

表 3 不同栽培管理模式对小麦花后干物质转运量及籽粒贡献率的影响
Table 3 Effects of different cultivation management modes on wheat dry matter translocation and contribution to grain after anthesis

处理 Treatment	2009—2010			2010—2011		
	转运量 Translocation amount (kg·hm ⁻²)	转运率 Translocation rate (%)	转移干物质贡献率 Contribution of dry matter translocation to grains (%)	转运量 Translocation amount (kg·hm ⁻²)	转运率 Translocation rate (%)	转移干物质贡献率 Contribution of dry matter translocation to grains (%)
T1	1 363.2c	10.0d	18.0c	2 613.9b	20.3b	31.6a
T2	2 191.4b	16.0c	25.9b	2 941.2a	23.3a	31.8a
T3	2 875.1a	20.3a	30.2a	2 813.5a	22.5a	29.8b
T4	2 569.1a	19.3b	27.3ab	2 983.7a	23.6a	31.2a

表 4 不同栽培管理模式对小麦收获后各器官干物质累积量及分配率的影响
Table 4 Effects of different cultivation management modes on dry matter accumulation and distribution rate of different organs after harvest

年份 Year	处理 Treatment	累积量 Accumulation (kg·hm ⁻²)				分配率 Distribution rate (%)			
		茎秆 Stem	叶片 Leaf	籽粒 Grain	颖壳 Glume	茎秆 Stem	叶片 Leaf	籽粒 Grain	颖壳 Glume
2009— 2010	T1	7 813.2a	1 782.7a	7 566.2c	2 376.7a	39.99a	9.12a	38.72d	12.16b
	T2	7 488.1b	1 602.3b	8 452.6b	2 396.2a	37.49a	8.20c	42.32c	12.00b
	T3	7 186.9c	1 753.3a	9 519.9a	2 388.1a	34.47b	8.41b	45.66b	11.45b
	T4	6 521.2d	1 660.5b	9 416.0a	2 684.1a	32.15c	8.19bc	46.43a	13.24a
2010— 2011	T1	5 956.7a	1 971.0a	8 268.8b	2 326.7a	32.16a	10.64a	44.64b	12.56c
	T2	5 251.6b	1 709.6ab	9 252.0a	2 561.5a	27.96b	9.12b	49.28a	13.65ab
	T3	5 655.5ab	1 790.4ab	9 435.4a	2 589.8a	29.08b	9.17b	48.48a	13.28b
	T4	5 341.6b	1 611.4b	9 552.8a	2 717.2a	27.80b	8.39b	49.69a	14.13a

10.6%和 4.3%, 叶片对籽粒的贡献率显著提高, 茎秆和颖壳之间没有显著差异; 与 T3 模式相比, T4 模式的茎秆、叶片、颖壳的氮素转运量和贡献率均提高。可见, 栽培模式显著影响了氮素的吸收转运, 与 T1 模式相比, T2 模式通过提高花后各器官的氮素转运量和叶片对籽粒的贡献率来提高产量, T3、T4 模式通过提高叶片和茎秆中的氮素转运量和对籽粒的贡献率来提高产量。说明拔节期追肥能显著提高花后茎秆和叶片中的氮素转运量和对籽粒的贡献率, T4 模式有利于提高叶片中氮素的转运量和对籽粒的贡献率。

2.2.2 收获期各器官中氮素累积量和分配率

合理施肥, 避免过量施肥造成的大量氮素在茎秆中的残留, 对提高氮素利用率具有重要作用^[8]。从表 6 可以看出, 收获期各器官中的氮素累积分配比率均表现为籽粒>茎秆>叶片>颖壳。2009—2010 年, 与 T1 模式相比, T2 模式降低了叶片和颖壳中的分配比例, 提高了籽粒中的分配量和分配比例, 其中籽粒中的分配率比 T1 模式高 10.45%; 与 T3 模式相比, T4 模式籽粒和颖壳中的分配率分别提高 2.28%和 6.77%, 茎秆、叶片中的分配率降低, 且茎秆中的分配率达到显著水平。2010—2011 年, 与 T1 模式相比, T2 模式降低了茎秆和叶片中的分配量和分配比例,

提高了籽粒中的分配量和比例, 其中籽粒和颖壳中的分配率分别比 T1 模式高 4.3%和 12.59%; 与 T3 模式相比, T4 模式籽粒和颖壳中的分配率分别提高 1.01%和 44.14%, 茎秆、叶片中的分配率降低, 且茎秆中的分配率达到显著水平。因此, 与 T1 和 T3 模式相比, T4 模式的小麦养分能够更多地从营养器官向生殖器官转运, 有利于籽粒的形成。

2.3 不同管理模式对小麦产量和肥料利用率的影响

从表 7 可以看出, 不同施肥管理模式对产量和产量三要素都有显著影响。与 T1 模式相比, 两年 T2、T3、T4 模式的产量增加 11.72%~25.82%(2009—2010 年)和 11.89%~15.53%(2010—2011 年)。从产量三要素构成来看, 两年成穗数基本表现为 T1>T2>T3>T4, 且 T1 模式显著高于其他模式, 穗粒数表现为 T3>T4>T2>T1(2009—2010) 和 T4>T3>T2>T1(2010—2011), 千粒重表现为 T3>T4>T2>T1。虽然 T1 模式穗数显著高于其他模式, 但穗粒数和千粒重显著低于其他模式, 说明 T1 由于前期施肥较大、群体大、穗数足, 但后期供肥不足、穗粒数减少、粒重减轻、产量较低, 而 T2、T3、T4 模式由于改变了施肥和栽培管理, 协调了穗数、穗粒数、千粒重三因素, 使得产量明显高于 T1 模式, 从而达到高产水平。

表 5 不同栽培管理模式对小麦花后各器官氮素转运量和籽粒贡献率的影响

Table 5 Effects of different cultivation management modes on N translocation and contribution of different organs to grain after anthesis

年份 Year	处理 Treatment	氮素转运量 N translocation (kg·hm ⁻²)			对籽粒的贡献率 Contribution to grain (%)		
		茎秆 Stem	颖壳 Glume	叶片 Leaf	茎秆 Stem	颖壳 Glume	叶片 Leaf
2009— 2010	T1	39.52c	21.77ab	42.86c	23.74b	17.63a	27.08d
	T2	45.04b	27.24a	55.42b	26.83ab	17.55a	33.20c
	T3	55.47a	17.41ab	67.71a	30.60a	9.41b	37.09b
	T4	54.78a	12.96c	73.52a	30.87a	7.40b	41.98a
2010— 2011	T1	47.62c	37.67b	49.63b	25.53b	20.69b	25.81d
	T2	51.60b	41.65a	51.78b	26.24b	21.20b	26.34c
	T3	55.06a	42.13a	57.21a	26.62ab	21.38b	26.94b
	T4	55.75a	44.78a	59.59a	27.99a	25.12a	28.77a

表 6 不同栽培管理模式对小麦收获期各器官中氮素累积量和分配率的影响

Table 6 Effects of different cultivation management modes on N accumulation and distribution in different organs after harvest

年份 Year	处理 Treatment	氮素累积量 N accumulation (kg·hm ⁻²)				氮分配率 N distribution rate (%)			
		茎秆 Stem	叶片 Leaf	籽粒 Grain	颖壳 Glume	茎秆 Stem	叶片 Leaf	籽粒 Grain	颖壳 Glume
2009— 2010	T1	25.09b	17.87a	134.07d	13.70a	13.39a	9.56a	69.86c	7.19a
	T2	26.95b	13.92c	167.48c	8.58c	12.45a	6.43b	77.16ab	3.96d
	T3	30.30a	16.26b	183.15a	10.61b	12.53a	6.80b	76.24b	4.43c
	T4	24.39b	14.54c	175.15b	10.61b	10.83b	6.46b	77.98a	4.73b
2010— 2011	T1	31.45ab	25.37a	182.36b	14.50b	15.89a	6.51a	71.88b	5.72bc
	T2	29.01c	19.71bc	196.54ab	16.91ab	13.95b	4.64b	74.97a	6.44ab
	T3	35.62a	22.09ab	219.67a	14.63b	14.78b	5.05b	75.14a	5.03c
	T4	29.76c	16.26bc	207.17ab	19.77a	12.15c	4.70b	75.90a	7.25a

表 7 不同栽培管理模式对小麦产量和肥料利用率的影响
Table 7 Effects of different cultivation management modes on wheat grain yield and fertilizer utilization efficiency

年份 Year	处理 Treatment	成穗数 Spike number ($10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	穗粒数 Grain number per spike	千粒重 1000-kernel weight (g)	产量 Yield ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	PFPN ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	PFPP ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	PFPK ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
2009— 2010	T1	643.50a	30.75c	45.04d	7 566.18c	33.63c	100.88c	126.10b
	T2	621.30b	33.08b	46.79c	8 452.56b	46.96a	112.70a	140.88a
	T3	598.20c	37.48a	47.90a	9 519.90a	31.73d	63.47d	63.47d
	T4	599.30c	36.73a	47.14b	9 416.04a	39.23b	104.62b	104.62c
2010— 2011	T1	641.88a	37.03c	42.32d	8 268.85c	36.75c	110.25b	137.81b
	T2	623.75b	38.71b	43.85c	9 251.97b	51.40a	123.36a	154.20a
	T3	605.19c	38.73b	45.64a	9 453.37ab	31.45d	62.90d	62.90d
	T4	603.90c	38.84a	45.00b	9 552.80a	39.80b	106.14c	106.14c

PFPN: 氮肥偏生产力; PFPP: 磷肥偏生产力; PFPK: 钾肥偏生产力。PFPN: partial factor productivity of nitrogen fertilizer; PFPP: partial factor productivity of phosphorus fertilizer; PFPK: partial factor productivity from potassium fertilizer.

从肥料利用率来看, 两年的氮、磷、钾偏生产力结果均为 T2 模式最高, T3 模式最低。与 T1 相比, T2 模式虽然降低了肥料用量, 但随着施肥管理措施的改变, 产量显著提高, 所以肥料利用率也显著提高; 与 T3 相比, T4 虽然肥料用量明显减少, 但栽培管理方式的改变满足了小麦不同时间对养分的需求, 实现了穗数、穗粒数和千粒重的协调, 因而产量没有显著降低, 肥料利用率却显著提高。

3 讨论与结论

高产、高效和农田可持续性兼顾的科学养分管理已成为养分资源管理研究的热点^[1,6], 适宜的氮磷钾配比及用量可提高小麦产量及品质^[15]。大量研究表明, 优化的养分管理能够克服常规栽培管理模式的不足, 提高产量、增加养分利用效率^[16-20]。本研究表明, T1 模式“一炮轰”施肥方式干物质增长开始和结束的时间都比较早, 后期养分供应不足, 成熟期籽粒中氮素积累明显不足, 不利于产量提高, 同时肥料利用率也很低。优化模式 T2 与农民习惯模式 T1 相比, 满足了作物后期需肥量, 符合作物生长需求, 通过延长干物质快速增长时间和花后各器官的氮素转运量, 提高了千粒重和穗粒数。T3 模式与 T4 模式相比, 在干物质积累和转运方面没有明显差异, T4 模式主要是通过减少肥料用量和灌水量来提高花后叶片中氮素的转运量和对籽粒的贡献率来提高粒重, 在产量不降低的同时大大提高肥料利用率, 这也可能与这一模式改善了土壤水分条件, 促进了氮素吸收有关。

小麦茎秆、叶片花后的氮素转运量和对籽粒的贡献率均表现为 T3、T4 模式大于 T1、T2 模式, 说明随着产量水平的提高, 花后茎秆、叶片中氮素向籽粒的转运量也在提高, 可见, T3、T4 模式通过提高了花后小麦叶片和茎秆贮存氮素向籽粒的转运量

和对籽粒的贡献率来获得高产和效率高效, 与 T3 模式相比, T4 模式茎秆与叶片干重比例与 T3 模式相当, 但 T4 模式籽粒生物量积累稍占优势, 使得小麦个体生长稳健, 群体分布合理, 有利于协调营养生长与生殖生长的矛盾, 在保证充足的同化物合成与积累的前提下, 能够更多地促进养分从营养器官向生殖器官转运, 使得产量构成优化, 产量和生产效率提高。这说明如何提高花后小麦叶片和茎秆贮存的氮素向籽粒的转运是目前高产研究中应该重点关注的问题, 而在目前试验条件下, 高产栽培中减少 20%~40% 的肥料用量也可以达到预期目标。

参考文献

- [1] Cui Z L, Zhang F S, Chen X P, et al. On-farm evaluation of an in-season nitrogen management strategy based on soil Nmin test[J]. Field Crops Res, 2008, 105(1/2): 48-55
- [2] 国家统计局河南调查总队. 河南统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011
- [3] 高旺盛, 黄进勇, 吴大付, 等. 黄淮海平原典型集约农区地下水硝酸盐污染初探[J]. 生态农业研究, 1999, 7(4): 41-43
- [4] 郑志松, 王晨阳, 张美微, 等. 水、氮磷肥及其互作对小麦淀粉糊化特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(3): 310-314
- [5] 李欢欢, 黄玉芳, 王玲敏, 等. 河南省小麦生产与肥料施用状况[J]. 中国农学通报, 2009, 25(18): 426-430
- [6] 闫湘, 金继运, 何萍, 等. 提高肥料利用率技术研究进展[J]. 中国农业科学, 2008, 4(2): 450-459
- [7] Cui Z L, Chen X P, Miao Y X, et al. On-farm evaluation of the improved soil Nmin-based nitrogen management for summer maize in North China plain[J]. Agron J, 2008, 100(3): 517-525
- [8] Zhao R F, Chen X P, Zhang F S, et al. Fertilization and nitrogen balance in a wheat-maize rotation system in north China[J]. Agron J, 2006, 98(4): 936-944
- [9] 汪军, 王德建, 张刚. 太湖地区稻麦轮作体系下秸秆还田配施氮肥对水稻产量及经济效益的影响[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(2): 265-272

- [10] 刘淑君. 北方潮土区冬小麦最佳测土配方施肥模式[J]. 天津农业科学, 2011, 17(4): 21–24
- [11] 谢瑞峰, 贾世隆. 灵台县旱塬冬小麦氮磷配方施肥效应及施肥模式探讨[J]. 甘肃农业科技, 1999(9): 30–31
- [12] 段敏, 同延安, 魏祥. 不同施肥条件下冬小麦氮素吸收、转运及累积的研究[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(3): 464–468
- [13] 赵士诚, 沙之敏, 何萍. 不同氮肥管理措施在华北平原冬小麦上的应用效果[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(3): 517–524
- [14] 王春阳, 周建斌, 郑险峰, 等. 不同栽培模式及施氮量对半旱地冬小麦氮素累积及分配的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(1): 101–108
- [15] 何萍, 李玉影, 金继运. 氮钾营养对面包强筋小麦产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(4): 395–398
- [16] Sainz H R, Echeverria H E, Barbie A. Nitrogen balance as affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no-tillage maize[J]. Agron J, 2004, 96(6): 1622–1631
- [17] 张福锁, 崔振岭, 王激清, 等. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略[J]. 植物学通报, 2007, 24(6): 687–694
- [18] 裴雪霞, 王秀斌, 何萍, 等. 氮肥后移对土壤氮素供应和冬小麦氮素吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 9–15
- [19] 孔丽红, 赵玉路, 周福平. 简述小麦干物质积累运转与高产的关系[J]. 山西农业科学, 2007, 35(8): 6–8
- [20] He P, Li S T, Jin J Y, et al. Performance of an optimized nutrient management system for double-cropped wheat-maize rotations in North-central China[J]. Agron J, 2009, 101(6): 1489–1496

中国科学院遗传与发育生物学研究所 农业资源研究中心研究生教育简介

1 概况

中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心(以下简称中心)的前身为始建于 1978 年的中国科学院石家庄农业现代化研究所。中心拥有中国科学院院士 1 人, 研究员 17 人, 引进中国科学院“百人计划”人才 3 名。在读硕士和博士研究生 80 人。

中心沿北纬 38 度带分别在河北省元氏县、栾城县和南皮县建立了 3 个野外试验台站, 形成了具有不同生态类型的山地丘陵区—山前平原区—滨海平原区农业科学研究基地。其中栾城农业生态系统试验站已于 2005 年晋升为国家野外试验台站, 同时也是中国科学院生态网络台站成员和国际 GTOS 成员。中心拥有中国科学院农业水资源重点实验室、河北省节水农业重点实验室和中国科学院小麦转基因研究试验基地。

自 2002 年进入中国科学院知识创新工程以来, 中心面向国家水安全、粮食安全、生态环境安全的重大战略需求和农业资源与生态学前沿领域, 以农业水资源高效利用为重点, 在节水理论与技术、农业生物技术、生态系统及信息管理等领域, 开展应用基础研究, 集成创新资源节约型现代农业模式, 为区域农业持续发展做出了基础性、战略性、前瞻性贡献。

2 招生与培养

2.1 招生

每年秋季招收 1 次生态学博士、学术型硕士和生物工程全日制专业学位硕士研究生。每年 8 月左右开展免试生接收工作。通过中心复试并获得拟接收资格的免试生, 若最终未获所在校外推指标者, 只要统考成绩通过中心的复试线, 可免复试直接录取。

2.2 培养与就业

中心十分注重培养质量, 改善人才成长环境, 努力提高学生的综合素质。每年有多位学生荣获中国科学院和中国科学院遗传与发育生物学研究所的各种冠名奖学金。学生毕业后赴国内外大学和科研院所等企事业单位就职或从事博士后研究工作。近 5 年毕业生就业率达 96.59%, 其中 2010 年毕业生就业率达 100%, 按期毕业率达 96%。

2.3 学生待遇

学生在学期间不仅不收取任何学费, 还享有相应的研究助理薪金, 硕士生奖/助学金 25000 元/年左右, 博士生 35000 元/年左右。优秀学生每年除可获得中国科学院研究生院奖学金、冠名奖学金等奖励外, 还可享有研究所设立的“振声奖学金”和“益海嘉里奖学金”等。

学生拥有宽敞明亮并备有单独卫生间的住宿(两人间)环境和价位适中的学生食堂。

热忱欢迎地球科学、生物学、农学和林学等相关专业有志青年踊跃报考及推免!

3 联系方式

单位网址: <http://www.sjziam.ac.cn> 电话: 0311-85801050 传真: 0311-85815093

联系人: 王老师 E-mail: yzb@sjziam.ac.cn 邮政编码: 050022