

钟 茜,韩鹏辉,高宁大,等. 不同栽培管理模式对冬小麦产量、养分利用及土壤硝态氮的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(7):52-54.

# 不同栽培管理模式对冬小麦产量、养分利用及土壤硝态氮的影响

钟 茜<sup>1,2</sup>, 韩鹏辉<sup>2</sup>, 高宁大<sup>2</sup>, 倪玉雪<sup>2</sup>, 张丽娟<sup>2,3</sup>

(1. 重庆工商职业学院, 重庆 401520; 2. 河北农业大学资源与环境科学学院, 河北保定 071000;

3. 河北省新建农田生态环境重点实验室, 河北保定 071000)

**摘要:**针对目前冬小麦种植中多种管理模式并存的情况,通过田间试验研究了不同栽培管理模式冬小麦的产量构成、作物养分和收获后土壤硝态氮的残留情况,以期对不同栽培模式进行综合比较。结果表明:与农民传统管理模式(模式 A)下  $6.4 \text{ t/hm}^2$  的产量水平相比,养分投入优化模式(模式 B)、高产模式(模式 C)、高产养分再优化模式(模式 D)均能够大幅度提高冬小麦产量,产量分别达到了  $7.3$ 、 $7.7$ 、 $7.5 \text{ t/hm}^2$ 。养分利用效率结果与产量结果类似,B、C、D 模式均高于农民传统的管理模式,其中 D 模式的籽粒生产效率较 C 模式有显著提高,氮、磷、钾的生产效率分别达到了  $29$ 、 $160$ 、 $16 \text{ kg/kg}$ ,表明目前的高产栽培模式仍有较大的养分利用效率提升空间。在冬小麦收获后,农户习惯模式 A 和模式 C 的土壤残留硝态氮积累量较高,而模式 B、D 的积累较少。综合比较发现,兼顾高产与环境友好的模式 D 的冬小麦保持了较高的产量水平而且养分利用效率高,同时收获后土壤中残留硝态氮的积累量较低,实现了冬小麦高产与环境的协调。

**关键词:**冬小麦;养分利用;土壤硝态氮;栽培管理模式

**中图分类号:** S512.1<sup>+</sup>1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-1302(2013)07-0052-03

由于我国地少人多,因此提高作物单产成为保证我国粮食安全的主要途径。在农业增产的诸多因素中,化肥所起的作用占 50% 左右<sup>[1]</sup>。近 20 年间,我国的化肥施用量增加了近 1 倍,但是主要粮食作物生产中氮磷钾肥的偏生产力、农学效率、肥料利用率和生理利用率等与 20 世纪 80 年代相比呈下降趋势,远低于农业发达国家水平,其中氮肥的利用率甚至不足 30%<sup>[2]</sup>。在肥料的施用量中,氮肥用量约占 50% 左右<sup>[3]</sup>,一些农业发达地区小麦玉米季的氮肥年施用量超过了  $650 \text{ kg/hm}^2$ <sup>[4-5]</sup>。高量的氮肥投入远超出了作物的养分需求,造成氮素大量盈余,更有相当部分氮素进入环境中,对环境造成了较大威胁。而随着我国耕地面积的日益减少和人口的不断增加,对粮食产量的提高有更加迫切的需求,因此如何在增加作物产量的同时提高养分效率并降低氮肥投入,成为当前亟待解决的问题。华北平原是我国最重要的粮食产区之一,小麦产量占我国小麦总产量的 61%<sup>[6]</sup>。本研究选择我国主要的粮食产区河北平原作为研究区域,研究不同水肥综合管理模式对小麦产量、养分利用效率及土壤环境的影响,以期探索小麦高产、养分高效利用与环境友好的实现途径,为粮食安全保障和资源高效利用提供数据支持。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地基本情况

本定位试验始于 2007 年 10 月,地点设在河北省辛集市河

北农业大学马庄实验站( $37^{\circ}18'N$ ,  $115^{\circ}28'E$ )。实验站地属东部季风区温暖带半湿润大陆性气候,全年平均温度  $12.5^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水量  $488.2 \text{ mm}$ ,无霜期 209 d,年日照  $2\,629.5 \text{ h}$ ,是典型的小麦/玉米一年两熟的种植区域。

试验地地势平坦、土层深厚,土壤类型为壤质潮土,土壤 pH 值为 7.8,有机质含量  $16 \text{ g/kg}$ ,碱解氮含量  $92 \text{ mg/kg}$ ,速效磷含量  $16 \text{ mg/kg}$ ,速效钾含量  $98 \text{ mg/kg}$ ,依据《全国养分含量等级表》的分级标准属于二级水平<sup>[7]</sup>。

### 1.2 试验设计

试验设 4 个处理,分别为:A. 农民习惯种植方案(简称农户习惯模式 A);B. 当地农业技术部门推荐的养分投入优化方案(简称模式 B);C. 在 B 处理的基础上进一步提高产量的高产方案(简称模式 C);D. 为兼顾高产、水肥高效利用和环境友好的集成方案(高产再优化,简称模式 D);其中模式 C 在小麦季基施腐熟牛粪  $22.5 \text{ t/hm}^2$ 。每个小区设 3 个重复,共计 12 个小区,设定为随机区组排列,每小区的面积为  $8.8 \text{ m} \times 8.8 \text{ m} = 77.4 \text{ m}^2$ 。本研究的数据为第 3 年轮作中冬小麦季的试验结果。冬小麦供试品种为石新 828,于 2009 年 10 月 6 日播种,全部为机械播种,于 2010 年 6 月 17 日收获。具体种植方式与管理措施见表 1,除表中所述外,其他管理措施在各处理间均保持一致。

试验中所用氮肥为尿素(46% N),磷肥为重过磷酸钙( $16\% \text{ P}_2\text{O}_5$ ),钾肥为氯化钾(50%  $\text{K}_2\text{O}$ ),微肥为硼砂(99%)和硫酸铜(99%);其中磷、钾肥与微肥全部作为底肥基施。氮肥在各时期的分配比例为:模式 A. 基施 60%,拔节期追施 40%;模式 B. 基施 50%,拔节期追施 50%;模式 C. 基施 50%,拔节期追施 25%,抽穗期追施 25%;模式 D. 基施 50%,拔节期追施 35%,抽穗期追施 15%。

收稿日期:2013-03-18

基金项目:农业部公益性行业计划(编号:201103003)。

作者简介:钟 茜(1979—),女,四川成都人,主要从事植物营养与人体健康的研究。E-mail:qianzhong@126.com。

通信作者:张丽娟。E-mail:lj\_zh2001@163.com。

表 1 各处理中冬小麦的不同种植方式与管理措施

处理	播种量 (kg/hm <sup>2</sup> )	施肥量(kg/hm <sup>2</sup> )					灌水量 (mm)
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	硼砂	硫酸铜	
A	255	270	150	0	0	0	140
B	195	195	90	60	0	0	120
C	195	300	150	150	2.25	4.5	130
D	195	240	90	90	2.25	4.5	120

1.3 样品的采集与测定

植物样采集:在冬小麦各生育期内,每小区分别随机采集 10 株植物样品。植物样品取回后放入烘箱,105 ℃ 杀青 0.5 h,然后于 65 ℃ 烘至恒重并称重;待植株粉碎后,用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 法消煮,然后用凯氏法测定植株全氮,钒钼黄比色法测定植株全磷,火焰光度计法测定植株全钾。

土壤样品采集:按照每 30 cm 1 层的方法分别在冬小麦各生育期取 0 ~ 90 cm 土壤样品,在冬小麦成熟期则取 0 ~ 180 cm 土壤样品。土壤样品取回后,将新鲜土样过 5 mm 筛后称取 12 g,用 0.01 mol/L CaCl<sub>2</sub> 振荡浸提 1 h,过滤后用流动分析仪测定土壤硝态氮,同时用烘干称重法测定土壤水分。剩余土样风干后过 1 mm 筛处理,然后用碳酸氢钠浸提 - 钼锑抗分光光度计测定土壤速效磷;用醋酸铵浸提 - 火焰光度计法测定土壤速效钾。

冬小麦收获时测定产量构成,包括产量、千粒重、有效穗数和穗粒数。

1.4 数据的统计分析

使用 Excel 进行作图,用 SAS 8.0 进行统计检验。  
偏生产力(kg/kg) = 植株籽粒干重产量(kg)/施肥量(kg);  
籽粒生产效率(kg/kg) = 单位面积籽粒产量(kg)/单位面积植株养分累积量(kg);  
干物质生产效率(kg/kg) = 单位面积植株干物质累积量(kg)/单位面积植株养分累积量(kg)。

2 结果与分析

2.1 不同栽培模式对小麦产量及其构成的影响

由表 2 可以看出,4 个栽培模式中,处理 C 的冬小麦产量最高,达到了 7.736 t/hm<sup>2</sup>,与农户习惯的处理 A 相比增产率达到 21.35%;产量第 2 高的为处理 D,增产率为 17.76%;C、D 处理之间差异不显著;B 处理产量也达到了 7.250 t/hm<sup>2</sup>;农户传统习惯处理的产量为最低,只有 6.375 t/hm<sup>2</sup>。

冬小麦有效穗数、穗粒数及千粒重等产量构成因素对产量有较大影响。从当季冬小麦的产量构成来看,与农户习惯模式相比,B、C、D 处理均能显著增加有效穗数与千粒重,从而使产量也有显著增加( $P < 0.05$ )。在 C、D 处理的栽培管理条件下,冬小麦产量和产量构成指标均表现良好,且两者之间差异不显著;虽然处理 C 在整体上表现较突出,但其凭借的是高投入高产出的栽培管理方式,处理 D 是基于资源、环境角度在处理 C 基础上的适度低投入,并且以较农户传统管理模式 A 更低水平的氮磷和合理的氮磷钾配比实现了冬小麦高产高效,所以处理 D 的栽培管理方式较为理想。

2.2 不同栽培模式下小麦作物养分吸收与累积的比较

2.2.1 冬小麦的干物质积累 由于干物质的积累和养分的吸收直接影响作物的生长发育,从而影响了产量,因此了解干

表 2 不同处理的冬小麦产量及其构成

处理	有效穗数 (万/hm <sup>2</sup> )	穗粒数 (粒)	千粒重 (g)	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	增产率 (%)
A	477b	45	37b	6 375b	
B	537a	43	42a	7 250a	13.72
C	594a	43	40a	7 736a	21.34
D	580a	43	41a	7 507a	17.76

注:同列数据后不同小写字母者表示差异显著( $P < 0.05$ )。表 3 同。

物质与养分吸收的动态变化规律有助于采取有效措施调控作物的生长发育、提高产量<sup>[8]</sup>。由表 3 可以看出,随着冬小麦生长发育的进行,其干物质积累量逐渐增加,在成熟期达到最大值。在成熟期,以 C、D 处理的干物质积累量最高,均超过了 20 t/hm<sup>2</sup>,显著高于 A、B 处理。冬小麦在各模式下干物质质量的累积趋势在整体上表现为:前期积累缓慢,后期迅速增加,特别是从拔节期到灌浆期,各处理的干物质质量增加迅速。

表 3 不同处理冬小麦各生育期的干物质质量 kg/hm<sup>2</sup>

处理	返青期	拔节期	抽穗期	灌浆期	成熟期	花后累积
A	681a	6 352a	9 843b	17 452a	17 915c	8 072ab
B	702a	6 023a	9 900b	14 345b	17 270c	7 370b
C	734a	6 522a	13 103a	18 072a	22 049a	8 946a
D	775a	6 405a	11 266b	18 230a	20 163b	8 897a

2.2.2 冬小麦的养分吸收 由图 1 可以看出,不同栽培模式下成熟期冬小麦植株氮养分累积量以处理 C 最高,其次是处理 D、处理 B,最低的是农户习惯模式处理 A;处理 C 的氮累积量与处理 A、B 间差异显著,处理 D 与农户习惯模式处理 A 间也有显著差异。各处理磷养分累积量由高到低依次为处理 D、处理 C > 处理 B 和农户习惯模式处理 A,处理 C、处理 D 与其他 2 个处理间差异显著。各处理间钾素累积趋势与氮素相同,表现为处理 C > 处理 D > 处理 B > 农户习惯模式处理 A,4 个处理间具有显著性差异。

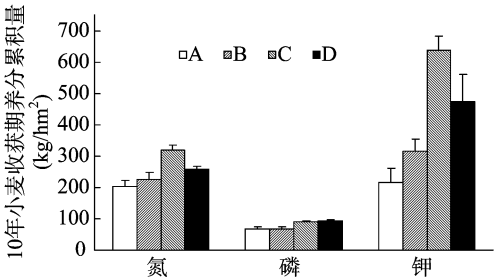


图 1 冬小麦成熟期地上部氮磷钾养分累积

处理 C 在氮、钾养分累积上表现最为突出,这与处理 C 的 300 kg/hm<sup>2</sup> 氮、150 kg/hm<sup>2</sup> 钾的氮、钾肥投入及有机肥施用、高密度种植等管理措施相关,这种以高投入换来植株养分高累积的方式与高效利用养分资源的目标是相矛盾的,对环境也不友好。处理 D 在氮磷钾养分累积上表现也比较良好,且氮肥投入较农户习惯模式低 30 kg/hm<sup>2</sup>,磷肥投入量较农户习惯模式低 60 kg/hm<sup>2</sup>,由于水肥的投入相对较少,管理栽培比较合理,有利于实现作物的高产高效,同时能够兼顾土地的可持续利用及对环境友好的目标。

2.3 冬小麦的养分利用效率

由表 4 可以看出,在不同栽培管理模式,冬小麦 B、C、D 处理的氮养分偏生产力均高于农户习惯模式 A 处理,其中以处理 B 最高;与氮偏生产力类似,磷养分偏生产力中 B、C、D 处理也高于农户习惯处理 A,其中处理 B 最高;由于农户习惯种植模式中不施钾肥,因此处理 A 没有计算钾养分的偏生产力,对于其他 2 种处理,处理 B 的钾养分偏生产力最高,达到了 126 kg/kg,高于 C 处理的 52kg/kg 和 D 处理的 83 kg/kg。综合比较处理 B、C、D,处理 B 的氮磷钾养分偏生产力分别为:39、84、126 kg/kg,均高于处理 C、D 对应养分的偏生产力。

与农户习惯模式处理 A 比较,处理 B、D 的氮素籽粒生产效率较高,而处理 C 的籽粒生产效率则略低于处理 A。在处理 C、D 之间进行比较发现,氮钾养分的籽粒生产效率以处理 D 较高,而磷养分的籽粒生产效率则以处理 C 较高。

从各养分的干物质生产效率来看,处理 B 的氮素干物质生产效率为 79 kg/kg,表现最好;磷素干物质生产效率以农户习惯模式处理 A 最大,为 545 kg/kg;钾素的干物质生产效率表现为农户习惯模式处理 A 最高,为 81 kg/kg,其次为处理 B,处理 C、D 分别为 34、42 kg/kg,处理 D 稍高于处理 C。

表 4 不同处理冬小麦的养分利用效率

养分	处理	施肥量 (kg/hm <sup>2</sup> )	作物吸收 (kg/hm <sup>2</sup> )	偏生产力 (kg/kg)	籽粒生 产效率 (kg/kg)	干物质 生产效率 (kg/kg)
氮	A	270	235	19	27	76
氮	B	195	225	39	34	79
氮	C	300	317	26	24	68
氮	D	240	257	31	29	76
磷	A	150	33	43	194	545
磷	B	90	34	84	223	522
磷	C	150	45	52	172	478
磷	D	90	47	83	160	419
钾	A	0	221	—	29	81
钾	B	60	315	126	24	56
钾	C	150	637	52	12	34
钾	D	90	472	83	16	42

注:“—”表示数据缺失,因为农户习惯种植模式中不施钾肥,所以未计算钾的偏生产力。

2.4 作物收获后土壤剖面的硝态氮分布

由图 2 可以看出,冬小麦收获后,各处理土壤的硝态氮含量在表层累积较多,残留量在 60~90 kg/hm<sup>2</sup> 之间;农户习惯模式处理 A 和处理 C 的残留量较高,均大于 80 kg/hm<sup>2</sup>;处理 B、D 的积累较少;各处理之间没有显著差异。与其他处理相比,处理 D 在 30~60 cm 土层硝态氮的含量出现了 1 个峰值,但随着土层深度增加,其硝态氮在土壤中的残留量在整体上均低于其他大部分处理。在 90 cm 深度以下,各处理的硝态氮积累有少许增加,可见土壤硝态氮有向深层次淋溶的趋势。

3 结论与讨论

本研究结果表明,冬小麦产量与其有效穗数、穗粒数和千粒重均呈现出显著正相关,这与前人的研究结果一致<sup>[9-11]</sup>。本研究中,处理 B、C、D 通过栽培措施的改变,与农民习惯模式处理 A 相比较增加了有效穗数及籽粒千粒重,从而显著提

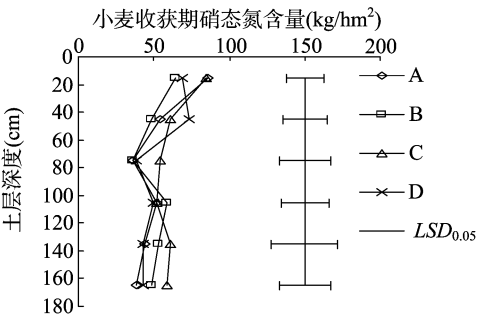


图2 冬小麦收获后土壤硝态氮残留

高了最终籽粒产量。

比较 2 个高产模式处理 D 与处理 C 发现,这 2 个处理均降低了拔节期氮肥的追肥比例,在抽穗期增加追肥措施,并且与处理 C 相比,处理 D 在氮磷钾投入总量上进行了下调。最终结果也显示,在 2 种处理的产量没有显著性差异的情况下,处理 D 的肥料偏生产力和籽粒生产效率均较处理 C 有所提高,充分证明处理 C 的高产栽培模式在养分利用效率上尚有进一步优化提高的空间。

从冬小麦收获后 0~180 cm 土壤硝态氮的残留量来看,4 个处理的 90~180 cm 土层中硝态氮残留量均保持了较高的水平,这与巨晓棠等研究的当施氮量高于 240 kg/hm<sup>2</sup> 时,冬小麦季有相当数量的氮移出 0~100 cm 土体的结论<sup>[12]</sup>一致。表层土壤的硝态氮的残留量以农户习惯模式处理 A、处理 C 较高,而处理 B、D 较少,这可能与农户在传统模式下基施氮肥数量和比例较大,小麦在生长初期不能高效吸收氮肥,以及不恰当的水分管理造成土壤硝态氮被淋洗至更深层相关。

参考文献:

[1] 曹志洪. 科学施肥与我国粮食安全保障[J]. 土壤,1998(2): 57-63,69.

[2] 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.

[3] 国家统计局. 中国农村统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2003.

[4] 马文奇. 山东省作物施肥现状与评价[D]. 北京:中国农业大学,1999:20-35.

[5] 崔振岭. 华北平原冬小麦—夏玉米轮作体系优化氮肥管理——从田块到区域尺度[D]. 北京:中国农业大学,2005:14-23.

[6] Cui Z,Zhang F,Dou Z,et al. Regional evaluation of critical nitrogen concentrations in winter wheat production of the North China Plain[J]. Agronomy Journal,2009,101(1):159-166.

[7] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京:中国农业出版社,1998.

[8] 宋海星,李生秀. 玉米生长量、养分吸收量及氮肥利用率动态变化[J]. 中国农业科学,2003,36(1): 71-76.

[9] 高翔,宁锐,宋哲民. 小麦高产品种分蘖特性与成穗规律的研究[J]. 西北农业学报,1994,3(4):17-22.

[10] 庞红喜,宋哲民,屈益民. 大穗小麦品种(系)产量及其构成因素分析[J]. 西北农业大学学报,1997,25(4):28-32.

[11] 叶新媛,毛振荣. 淮北地区小麦产量构成因素分析及其高产策略[J]. 小麦研究,2008,29(3):19-21.

[12] 巨晓棠,刘学军,张福锁. 冬小麦/夏玉米轮作中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 在土壤剖面的累积及移动[J]. 土壤学报,2003,40(4):538-546.