

# 周年肥料运筹对冬小麦-夏玉米 轮作体系周年产量的影响

李 晋,刘小丽,李文广,刘振华,杨珍平,黄春国,孙 敏,高志强

(山西农业大学 农学院,山西 太谷 030801)

**摘要:**为探究投入总量固定情况下,肥料在冬小麦-夏玉米轮作体系中最佳的分配方式,在保障粮食产量的同时,促进化学肥料的合理使用,为农业生产提供科学施肥的理论依据,在垣曲县冬小麦复播夏玉米田进行田间试验。试验采用二因素裂区设计。施肥投入参考当地农户常规施用量即纯氮 420 kg/hm<sup>2</sup>。以小麦/玉米两季肥料分配比为主区,设置3个水平 126/294,210/210,294/126 kg/hm<sup>2</sup>;副区为小麦季基肥与拔节期追肥配比,6水平为 10:0,7:3,6:4,5:5,4:6,3:7。小麦收获后复种夏玉米。在两季作物成熟期分别取样进行测定。结果表明,小麦季施肥量为 126 kg/hm<sup>2</sup>,玉米季施肥量为 294 kg/hm<sup>2</sup>时,两季作物均能得到高产,且小麦季产量间差异达到显著水平( $P < 0.05$ ),周年产量相比增加 12.98%,4.25%。不同的基追比管理对于小麦的影响不同,采用 6:4 的管理方式有利于穗的形成,产量较不追肥处理增加了 12.86%;在这种管理方式下,肥料偏生产力也较高。相关分析表明,增大小麦季的追肥比例有利于后作玉米千粒质量的提高。在本试验条件下,小麦季最佳的基追比为 6:4;施氮量 420 kg/hm<sup>2</sup>以小麦-玉米分配比例 3:7 时效果最佳。

**关键词:**冬小麦-夏玉米;肥料运筹;基追比;周年产量

中图分类号:S512.1;S513 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2020)增刊-0241-09

doi:10.7668/hbnxb.20191634



## Effect of Annual Fertilizer Management on Annual Yield of Winter Wheat-Summer Maize Rotation System

LI Jin, LIU Xiaoli, LI Wenguang, LIU Zhenhua, YANG Zhenping,  
HUANG Chunguo, SUN Min, GAO Zhiqiang

(College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801 China)

**Abstract:** In order to explore the best distribution method of fertilizer in the winter wheat-summer maize rotation system under the fixed total input. While ensuring food production, promote the rational use of chemical fertilizers and provide a theoretical basis for scientific fertilization for agricultural production. A field experiment was carried out in winter wheat replanted summer maize field in Yuanqu County. The experiment was designed as two-factor split plot. The main-plot was wheat/maize two-season fertilizer distribution ratio, with three levels of 126/294, 210/210, 294/126 kg/ha and sub-plot was the ratio of wheat season basal fertilizer and jointing top dressing, and the 6 levels were 10:0, 7:3, 6:4, 5:5, 4:6, 3:7. After the wheat was harvested, summer maize was replanted. Samples were collected during the harvest period for yield and yield composition. The results showed that when the fertilizer amount in wheat season was 126 kg/ha and corn season was 294 kg/ha, both crops could get high yield, and the difference in wheat yield reached a significant level ( $P < 0.05$ ). The annual output increased by 12.98%, 4.25%. Different base dressing ratio management had different effects on wheat. The 6:4 management method was beneficial to the formation of ears. Yield increased by 12.86% compared with no top dressing treatment. Under this management method, fertilizer partial productivity was also higher. Correlation analysis showed that increasing the ratio

收稿日期:2020-08-07

基金项目:国家科技支撑计划课题(2015BAD23B04-02);公益性行业(农业)科研专项项目(201503120);国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-03-01-24)

作者简介:李 晋(1997-),男,山西长治人,在读硕士,主要从事作物生态与旱作农业研究。

通讯作者:杨珍平(1973-),女,山西朔州人,教授,博士,博士生导师,主要从事作物生态与旱作农业研究。

of topdressing in wheat season was beneficial to increase the 1000-kernel weight of corn. Under the conditions of this experiment, the best ratio of base to dress in the wheat season was 6:4. It was suggested applying N 420 kg/ha with 3:7 nitrogen distribution ratio between winter wheat and summer maize would gain the highest yield.

**Key words:** Winter wheat-summer maize; Fertilizer management; Ratio of base to topdressing; Annual yield

冬小麦-夏玉米一年两作是晋南地区常见的种植模式。在实际生产中,农民为追求高产在两季作物均施入大量化肥,一方面投入增加而经济效益降低,另一方面也容易造成土壤环境问题,如土壤板结、土壤养分片面消耗、肥力下降等<sup>[1-2]</sup>;适当减少肥料投入并不会引起小麦-玉米体系产量降低<sup>[3]</sup>。对于单季小麦或玉米施肥量、施肥时期等问题已经有了大量文献记载,但是将两季作物作为一个整体,考虑周年肥料运筹的相关研究较少,而且各地区自然环境的差异也会造成试验结论不适用,因此,确定适合当地的肥料运筹方式显得尤为重要。大量研究表明,适当追肥能够增强小麦抗倒伏能力<sup>[4]</sup>,提高小麦生育后期根系活力,延缓衰老<sup>[5-6]</sup>,同时提高小麦籽粒蛋白含量和氮肥利用效率<sup>[7-11]</sup>。但不同地区肥料投入量及基/追肥比例不尽相同<sup>[12-13]</sup>。对于夏玉米来说,播种时肥料一次性作基肥施入,可以达到省工、节肥、高产、高效的目的,同时增加植株氮磷钾积累量,提高夏玉米氮肥利用效率,减少肥料损失<sup>[14-17]</sup>。

山西省垣曲县是典型旱作雨养农业区,该区年降水量 600~800 mm,热量资源充足,冬小麦复播夏玉米为当地常见种植模式,但生产上农民通常在两季作物施用等量的氮磷钾复合肥 750 kg/hm<sup>2</sup>(纯氮 210 kg/hm<sup>2</sup>),且多为“一炮轰”,极易造成小麦拔节期因缺水缺肥而生长受限、降低产量。基于减肥高效目的,本试验拟在周年肥料总用量不变的基础上,配套小麦季播种施肥一体机、玉米季种肥同播机,探讨两季作物肥料用量不同、小麦季拔节期遇雨补充追肥对小麦、玉米单季产量及冬小麦-夏玉米体系周年总产量的影响,为冬小麦-夏玉米轮作体系确定周年肥料合理运筹提供理论依据,也为基于微喷灌或滴灌设施建设而将部分旱地麦田改造成为春浇一水肥麦田提供支撑。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验在山西省运城市垣曲县长直乡鲁家坡村十顷园冬小麦复播夏玉米田进行。该区年平均气温 13.5℃,年积温 4 900℃,年日照时数 2 026.2 h,年降水量 600~800 mm 且集中在 5-9 月,年蒸发量 1 200 mm,全年无霜期 236 d 左右,属暖温带半湿润

大陆性季风气候,也是典型旱作雨养农业区。试验田为山顶梯田,土壤类型为褐土性红立黄土,土质为中壤土。0~20 cm 耕层土壤基本性质为:土壤全氮含量 0.87 g/kg,碱解氮含量 41.13 mg/kg,速效磷含量 14.58 mg/kg,有机质含量 11.51 g/kg,pH 值 8.0。

### 1.2 供试作物

小麦(*Triticum aestivum* L.),烟农 21 号,冬性,生育期中等,具有较强的抗寒、抗旱和抗倒伏能力。玉米(*Zea mays* L.),联创 808,生育期 102 d。上述品种均由侯马市金色农田有限公司提供。

### 1.3 试验方案

固定周年复合肥用量分别为 N 420 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 90 kg/hm<sup>2</sup>。试验采用裂区设计。以小麦/玉米肥料分配比为主区,设置 3 个水平 126/294,210/210,294/126(分别记为 F1、F2、F3);副区为小麦季基肥与拔节期追肥配比,6 水平为 10:0,7:3,6:4,5:5,4:6,3:7(分别表示为 R1、R2、R3、R4、R5、R6)。2016 年 9 月 30 日在前茬玉米收获后按试验设计机械化秸秆还田并深施基肥,然后采用机械化宽窄行探墒沟播技术播种小麦,宽行 25 cm,窄行 12 cm,播量为 112.5 kg/hm<sup>2</sup>。2017 年 4 月 15 日小麦拔节期按试验设计遇雨追肥。2017 年 6 月 12 日小麦收获后,硬茬直播玉米,采用机械化种肥同播技术,玉米行距 60 cm,株距 30 cm,播量为 25 kg/hm<sup>2</sup>,肥料用量按照试验设计,种、肥间距 10 cm。田间管理同常规。

### 1.4 取样及产量考种

小麦成熟期在每个处理选取 3 点,每点取 1 m<sup>2</sup> 调查穗数,并从中取 20 穗统计穗粒数、千粒质量;玉米成熟期每个处理选取 3 个 6.6 m<sup>2</sup> 的点,统计穗数,选取有代表性的地段连续取 20 穗,统计穗粒数、千粒质量;计算理论产量;成熟期每个小区分别收获,小麦按照 13%、玉米按照 14% 的籽粒含水量计算产量。

### 1.5 数据统计与分析

氮(磷、钾)肥偏生产力(kg/kg) = 施氮(磷、钾)区作物产量/施氮(磷、钾)量。

使用 Excel(2010) 软件进行数据整理与制图;使用 SAS 9.4 统计分析软件进行多重比较,多重比较采用 Duncan 法( $P < 0.05$ );使用 R 软件进行相关分析及数据可视化。

## 2 结果与分析

### 2.1 周年肥料运筹对小麦产量及产量构成因素的影响

从产量结果来看(表1),减少小麦季肥料投入,小麦产量增加,且各施肥水平下产量差异显著;随着小麦季追肥比例的增加,产量表现为先增后减,实际

产量与理论产量表现一致。R3、R4 相比不追肥 R1 处理产量增加 12.86%、9.98%。

除 F1 处理外, R3、R4 的基追比相比于无追肥(R1)显著提高小麦产量。追肥比例占 30%~60%,对理论产量有增产效果;而实际产量增加则为追肥比例在 40%~60%,造成差异的原因可能是因为山顶梯田地块间的肥力不均所导致。

表 1 不同处理冬小麦产量

Tab.1 Winter wheat yield under the different treatment

t/hm<sup>2</sup>

指标 Items	基: 追 Ratio of base to topdressing	小麦季施氮量 The amount of nitrogen fertilizer in the wheat season			
		F1	F2	F3	均值 Mean
实际产量 Real yield	R1	5.24 ± 0.21aA	4.83 ± 0.04bB	3.46 ± 0.13dC	4.51 ± 0.76b
	R2	4.75 ± 0.10bA	4.68 ± 0.11bcB	3.71 ± 0.12cC	4.38 ± 0.47bc
	R3	5.38 ± 0.15aA	5.21 ± 0.10aA	4.68 ± 0.16aB	5.09 ± 0.30a
	R4	5.37 ± 0.31aA	5.21 ± 0.26aA	4.30 ± 0.17bB	4.96 ± 0.47a
	R5	4.92 ± 0.31abA	4.75 ± 0.16bcB	3.78 ± 0.10cC	4.49 ± 0.50b
	R6	4.62 ± 0.11bA	4.46 ± 0.11cA	3.74 ± 0.21cB	4.27 ± 0.38c
	均值 Mean	5.05 ± 0.30A	4.86 ± 0.27B	3.94 ± 0.41C	
理论产量 Theoretical yield	R1	6.79 ± 0.60abA	5.27 ± 0.34bB	4.56 ± 0.60bB	5.54 ± 0.93c
	R2	5.73 ± 0.46bcA	5.66 ± 0.46abA	5.62 ± 0.18aA	5.67 ± 0.05bc
	R3	6.95 ± 0.47aA	6.32 ± 0.45aB	5.48 ± 0.50abC	6.25 ± 0.60a
	R4	6.65 ± 0.22abA	5.88 ± 0.62abA	5.54 ± 0.48abA	6.03 ± 0.46ab
	R5	6.61 ± 0.43abA	6.18 ± 0.54aAB	5.50 ± 0.22abB	6.10 ± 0.46ab
	R6	5.51 ± 0.52cAB	6.14 ± 0.50aA	4.94 ± 0.15abB	5.53 ± 0.49c
	均值 Mean	6.37 ± 0.55A	5.91 ± 0.36B	5.29 ± 0.39C	

注: 同列小写字母表示不同基追比处理间显著性; 同行大写字母表示各施肥水平间显著性  $P < 0.05$ 。表 2~4 同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level between different ratios of base to topdress; Different uppercase letters indicate significant difference at 0.05 level between different fertilizer amount,  $P < 0.05$ . The same as Tab. 2~4.

小麦产量构成要素结果(表2)表明: 小麦穗数随着肥料投入的减少逐渐增加, 且各施肥水平间差异显著; 穗粒数则表现为 F3 处理显著低于另外 2 个处理。小麦季采用不同的基追比未显著影响千粒质量和穗粒数的构成。穗数随着追肥比例的增加表现为先增后减的变化趋势, 在基追比为 6:4 时有最大值。增加追肥比例, F3 中穗数与千粒质量先增后减; F2 处理在 4:6 时穗数有最大值; F1 处理下, 小麦千粒质量、穗数表现为先减后增再减的变化趋势, 在 5:5 处最大, 而穗粒数在 6:4 处达到最大值。

由此可见, 适当降低小麦季肥料投入并采用合理的追肥措施利于获得小麦高产, 肥料投入过高、追肥比例过大均不利于产量的形成。在当前试验条件下, 小麦季减氮 40% (F1) 同时采用 6:4 的基追比管理, 显著增加小麦穗数, 同时在千粒质量、穗粒数方面表现较好。

### 2.2 周年肥料运筹对夏玉米产量及产量构成要素的影响

玉米季产量结果如表 3 所示: 增加玉米季肥料的分配比例, 其理论产量也随之增加, 各施肥水平间

差异达到显著; 小麦季追肥用量不同, 对于玉米不同施肥水平下的影响也不尽相同。常规施肥 (F2), 小麦季 R4、R5 处理有利于玉米产量形成; 而在增量 (F3) 或减量 (F1) 水平下, R4 增产效果显著优于 R5。

玉米实际产量差异未达显著水平。F3 处理中实际产量表现与理论产量表现一致, 小麦季采用 5:5 的基追比能得到最大产量。F1、F2 2 种分配方式的施肥量下, 小麦季采用不同的基追比对后作玉米实际产量未达到显著影响, 但以 6:4 的处理下产量最高, 结果表现与理论产量存在差异, 可能是由于夏玉米生育期较短且生长当季降雨量大, 土壤中氮素易被淋洗或因反硝化作用而产生损失, 造成玉米对肥料的利用不足, 未能达到理想的增产效果。

从夏玉米产量构成要素(表4)来看, 3 种分配方式玉米千粒质量、穗粒数之间差异未达到显著水平; 穗数则表现为 F2 处理显著高于 F3。前作小麦不同的基追比对夏玉米穗数、穗粒数没有产生显著影响; 小麦追肥比例增加 (R6), 玉米千粒质量比不追肥显著增加, 但 F1、F2 各处理间差异不显著, 6:4 的基追比能得到较大的千粒质量。

表 2 不同处理小麦产量结构

Tab. 2 Winter wheat yield composition under the different treatments

指标 Items	基: 追 Ratio of base to topdressing	小麦季施氮量 The amount of nitrogen fertilizer in the wheat season			
		F1	F2	F3	均值 Mean
穗数/(10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> ) Total ears	R1	498 ± 14.42bA	466 ± 8.02cB	442 ± 13.73cC	469 ± 22.93b
	R2	462 ± 9.10cA	489 ± 18.50abcA	469 ± 7.69abA	473 ± 11.44b
	R3	507 ± 7.38abA	504 ± 12.22abA	486 ± 13.22aA	499 ± 9.27a
	R4	528 ± 16.43aA	480 ± 19.67bcB	469 ± 3.71abB	492 ± 25.61a
	R5	509 ± 14.90abA	510 ± 7.30aA	455 ± 6.65bcB	491 ± 25.69a
	R6	493 ± 17.41bA	479 ± 18.50bcAB	442 ± 6.65cB	471 ± 21.51b
	均值 Mean	500 ± 20.04A	488 ± 15.11B	461 ± 15.86C	
穗粒数/粒 Grains per ear	R1	36 ± 1.00abA	31 ± 1.00aA	30 ± 0.43aA	32 ± 2.62a
	R2	33 ± 1.15bA	32 ± 0.66aA	35 ± 0.50aA	33 ± 1.24a
	R3	37 ± 0.52aA	35 ± 1.09aA	30 ± 1.01aB	34 ± 2.94a
	R4	33 ± 0.36bA	34 ± 1.73aA	32 ± 1.02aA	33 ± 0.81a
	R5	36 ± 0.48abA	35 ± 0.94aA	33 ± 0.52aA	35 ± 1.24a
	R6	33 ± 0.56bAB	35 ± 0.67aA	29 ± 0.54aB	32 ± 2.49a
	均值 Mean	35 ± 1.70A	34 ± 1.60A	32 ± 2.06B	
千粒质量/g 1000-grain weight	R1	38.17 ± 0.82aA	36.54 ± 0.39aA	34.73 ± 0.53bA	36.48 ± 1.41a
	R2	37.95 ± 0.42aA	36.67 ± 0.34aAB	34.75 ± 0.58bB	36.46 ± 1.32a
	R3	36.64 ± 0.34abA	35.57 ± 0.17aA	38.21 ± 0.33aA	36.81 ± 1.08a
	R4	37.76 ± 0.32aA	36.13 ± 0.39aA	36.93 ± 0.33abA	36.94 ± 0.67a
	R5	35.76 ± 0.10abAB	35.07 ± 0.77aB	37.16 ± 0.68abA	36.00 ± 0.87a
	R6	34.20 ± 0.38bB	36.91 ± 0.57aAB	38.05 ± 0.20aA	36.39 ± 1.61a
	均值 Mean	36.75 ± 1.41A	36.15 ± 0.65A	36.64 ± 1.42A	

表 3 不同处理夏玉米产量

Tab. 3 Maize yield under different treatments

t/hm<sup>2</sup>

指标 Items	基: 追 Ratio of base to topdressing	(小麦)玉米季施氮量 The amount of nitrogen fertilizer in the (wheat)maize season			
		F1	F2	F3	均值 Mean
实际产量 Real yield	R1	6.17 ± 0.32aA	5.90 ± 0.36aA	5.86 ± 0.12abA	5.97 ± 0.12a
	R2	5.93 ± 0.37aA	4.85 ± 0.58aA	5.65 ± 0.12bA	5.48 ± 0.46b
	R3	6.17 ± 0.52aA	6.07 ± 0.16aA	5.99 ± 0.09abA	6.07 ± 0.07a
	R4	5.97 ± 0.27aA	5.98 ± 0.38aA	6.18 ± 0.10aA	6.04 ± 0.09a
	R5	5.92 ± 0.12aA	6.00 ± 0.45aA	5.65 ± 0.12bA	5.86 ± 0.15ab
	R6	6.15 ± 0.38aA	5.93 ± 0.17aA	5.94 ± 0.30abA	6.01 ± 0.10a
	均值 Mean	6.05 ± 0.11A	5.79 ± 0.42A	5.88 ± 0.19A	
理论产量 Theoretical yield	R1	8.36 ± 0.32bA	8.32 ± 0.37abA	7.84 ± 0.07abA	8.17 ± 0.24b
	R2	8.37 ± 0.31bA	7.87 ± 0.26abAB	7.71 ± 0.25bB	7.98 ± 0.27b
	R3	8.54 ± 0.23abA	8.36 ± 0.30abA	7.99 ± 0.27abA	8.30 ± 0.23b
	R4	9.04 ± 0.13aA	8.45 ± 0.55abA	8.43 ± 0.27aA	8.64 ± 0.28a
	R5	8.01 ± 0.16bA	8.63 ± 0.27aA	7.75 ± 0.52bA	8.13 ± 0.37b
	R6	8.53 ± 0.44abA	7.66 ± 0.15bA	7.95 ± 0.24abA	8.05 ± 0.36b
	均值 Mean	8.48 ± 0.31A	8.23 ± 0.34B	7.95 ± 0.23C	

随着玉米季肥料投入的减少,前作小麦较高的追肥比例有利于其千粒质量的形成;穗粒数整体表现与施肥量呈正相关,小麦季采用 5:5,4:6 的基追比,玉米产量构成在 3 种分配方式下表现较好;这可能是实际产量与理论产量产生差异的原因。

### 2.3 肥料运筹对冬小麦-夏玉米轮作体系周年产量的影响

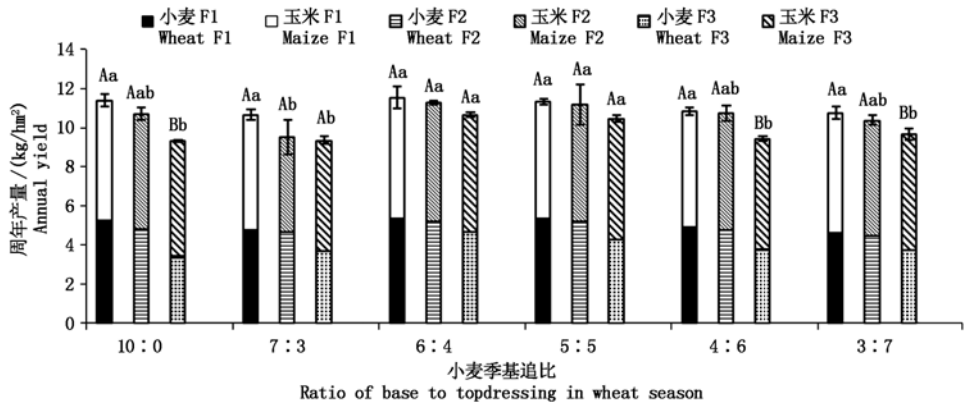
从图 1 可得,两季作物不同的肥料分配对于周

年产量有较大的影响。单季作物中,玉米产量在各处理间差异不显著,周年产量主要受到小麦季产量的影响。由图可知,在周年肥料投入固定时,F1 优于 F2、F3 处理,该方式相对增产 12.98%、4.25%;对于小麦季不同的施肥管理措施,周年产量的最大值集中出现在 6:4 与 5:5 处,且 3 种分配方式在 6:4 处的产量相比于无追肥管理增产 14.48%、5.14%、1.26%。

表 4 玉米季产量构成要素

Tab. 4 Summer maize yield composition under the different treatments

指标 Items	基: 追 Ratio of base to topdressing	(小麦) 玉米季施氮量 The amount of nitrogen fertilizer in the( wheat) maize season			均值 Mean
		F1	F2	F3	
穗数/(10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> ) Total ears	R1	11 ± 0.56aA	12 ± 0.17aA	10 ± 0.57aA	11 ± 0.82a
	R2	12 ± 0.35aA	11 ± 0.15aA	11 ± 0.20aA	11 ± 0.47a
	R3	12 ± 0.50aA	11 ± 0.15aA	10 ± 0.25aA	11 ± 0.82a
	R4	12 ± 0.28aA	12 ± 0.17aA	10 ± 0.52aA	11 ± 0.94a
	R5	10 ± 0.58aB	13 ± 0.25aA	10 ± 0.53aB	11 ± 1.41a
	R6	10 ± 0.20aB	13 ± 0.57aA	10 ± 0.15aB	11 ± 1.41a
	均值 Mean	11 ± 0.90AB	12 ± 0.82A	10 ± 0.37B	
穗粒数/粒 Grains per ear	R1	561 ± 1.53aA	548 ± 2.52aA	523 ± 1.53aA	544 ± 15.77a
	R2	532 ± 1.16aA	468 ± 0.87aA	533 ± 3.06aA	511 ± 30.41a
	R3	548 ± 2.52aA	551 ± 1.73aA	527 ± 2.52aA	542 ± 10.68a
	R4	568 ± 3.22aA	557 ± 1.72aA	511 ± 1.73aA	545 ± 24.69a
	R5	538 ± 2.00aA	549 ± 1.53aA	544 ± 3.22aA	544 ± 4.50a
	R6	538 ± 2.89aA	463 ± 3.06aA	488 ± 3.79aA	496 ± 31.18a
	均值 Mean	548 ± 13.06A	523 ± 40.55A	521 ± 17.80A	
千粒质量/g 1000-grain weight	R1	584.75 ± 2.31aA	571.59 ± 1.74aA	557.68 ± 0.42bA	571.34 ± 11.05b
	R2	594.59 ± 3.06aA	550.66 ± 0.99aA	584.99 ± 1.06abA	576.75 ± 18.86b
	R3	612.82 ± 1.50aA	585.34 ± 0.56aA	591.83 ± 2.03abA	596.66 ± 11.73ab
	R4	559.76 ± 1.33aA	602.69 ± 1.71aA	570.72 ± 0.37bA	566.17 ± 18.21b
	R5	589.32 ± 0.22aA	581.60 ± 1.28aA	597.41 ± 4.04abA	589.44 ± 6.45ab
	R6	581.76 ± 1.31aA	557.58 ± 1.96aA	626.00 ± 1.00aA	642.00 ± 28.33a
	均值 Mean	587.16 ± 15.83A	574.91 ± 17.44A	588.11 ± 21.50A	



不同小写字母表示不同基追比间差异显著性;不同大写字母表示不同肥料分配之间差异显著性, $P < 0.05$ 。

Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level between different ratio of base to topdress; Different uppercase letters indicate significant difference at 0.05 level between different fertilizer amount.

图 1 不同肥料分配方式下小麦-玉米周年产量

Fig. 1 Annual wheat-maize yield under different fertilizer management

2.4 肥料偏生产力

偏生产力是反映化肥施用效应的一个指标,周年肥料投入固定的情况下,不同的肥料分配方式其偏生产力如表 5,结果表明,肥料以 3:7 的周年分配应用时,氮肥、磷肥、钾肥均有较高偏生产力,3 种分配方式间达到显著水平。小麦季不同肥料管理措施对于肥料偏生产力影响如表 6 所示,采用 6:4 的基追比管理,其 N、P、K 肥的偏生产力除 5:5 处理外,

显著高于其他处理。

2.5 施肥量与产量及产量构成要素之间相关性分析

相关分析如图 2 所示,结果表明,小麦季施肥量与产量的各项指标表现为负相关,且与穗数、穗粒数达到显著水平;玉米产量与当季施肥量表现为负相关;小麦季增加追肥比例,不利于小麦千粒质量及产量的形成,但有利于后作玉米千粒质量的提高。

表 5 不同肥料运筹下 N、P、K 肥在周年产量中的偏生产力

Tab. 5 Partial productivity of N, P and K fertilizers in annual output under different fertilizer management kg/hm<sup>2</sup>

肥料中养分元素 Nutrient elements in fertilizer	小麦/玉米周年肥料运筹 Annual fertilizer management for wheat/corn		
	F1	F2	F3
N	26.42 ± 0.64A	25.34 ± 1.38B	23.39 ± 1.30C
P、K	123.31 ± 2.98A	118.27 ± 6.47B	109.14 ± 6.06C

注:大写字母表示 0.05 水平上各分配方式差异的显著性。

Note: Different uppercase letters indicate significant difference at 0.05 level between different managements.

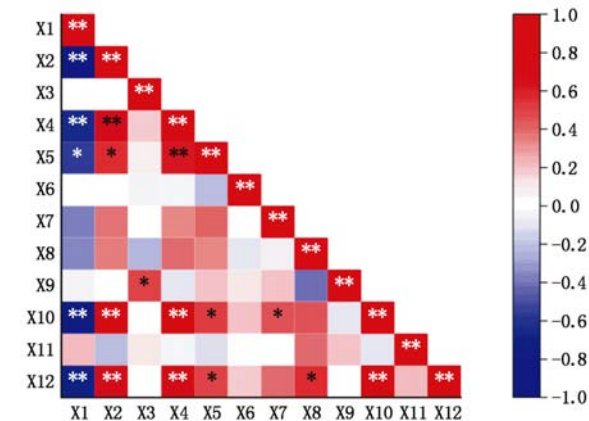
表 6 小麦各基追比处理下肥料在周年产量中的偏生产力

Tab. 6 Partial productivity of fertilizer in annual yield under the treatments of different base dressing ratios of wheat

肥料中养分元素 Nutrient elements in fertilizer	小麦季基追比 Ratio of base to topdressing in wheat season					
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
N	24.96 ± 1.28bc	23.46 ± 1.95d	26.58 ± 0.60a	26.20 ± 0.69ab	24.63 ± 1.86cd	24.47 ± 1.07cd
P、K	116.49 ± 10.21bc	109.50 ± 9.10d	124.05 ± 2.80a	122.25 ± 3.23ab	114.95 ± 8.70cd	114.18 ± 4.97cd

注:小写字母表示 0.05 水平上小麦季不同基追比处理之间差异显著性。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level between different ratio of base to topdressing.



X1、X2、X3、X4、X5、X6、X7、X8、X9、X10、X11、X12 分别表示小麦季施肥量、玉米季施肥量、小麦季追肥比例、小麦穗数、小麦穗粒数、小麦千粒质量、玉米穗数、玉米穗粒数、玉米千粒质量、小麦季产量、玉米季产量、周年产量; \* .  $P < 0.05$ ; \*\* .  $P < 0.01$ 。

X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8, X9, X10, X11, X12 respectively indicate the amount of fertilizer applied in the wheat season, the amount of fertilizer applied in the maize season, the ratio of topdressing in the wheat season, the number of wheat ears, the number of wheat grains per ear, the thousand-grain weight of wheat, the number of maize ears, the number of maize ears, the thousand-grain weight of maize, the yield of wheat season, the yield of maize season, and the annual yield; \* .  $P < 0.05$ ; \*\* .  $P < 0.01$ 。

图 2 施肥量与产量及产量构成要素相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis of fertilizer amount, yield and yield components

### 3 讨论与结论

农田生产中,作物生长发育受自然因素影响较大,在周年肥料投入固定的情况下,如何分配、如何施用对产量有极大的影响。本试验结果表明,周年施氮量 420 kg/hm<sup>2</sup>时,小麦季与玉米季肥料分配为 3:7,小麦季在拔节期追肥且基追比为 6:4 时有最大产量。对于两季作物肥料分配问题,在考虑产量的同时还应考虑环境效益<sup>[18]</sup>,席吉龙等<sup>[19]</sup>在运城

麦区研究表明,在冬小麦-夏玉米轮作体系中,周年施氮水平为 450 kg/hm<sup>2</sup>,两季作物最适分配为 5:5;韩小伟等<sup>[20]</sup>研究表明,肥料分配为 6:4 时,会引起玉米后期供氮不足,在 5:5 时,干物质积累最高,但肥料分配对小麦产量无显著影响,夏玉米积累量与肥料投入呈正相关;薛泽民等<sup>[21]</sup>研究表明,在两季作物肥料分配接近 5:5 时,产量最高。对于小麦季追肥比例和追肥时期,前人研究拔节期追肥且基追比为 6:4 时能够提高小麦生育后期抗旱能力,增加产量<sup>[22-24]</sup>,与本试验结果基本一致。玉米季理论产量表现与肥料投入量呈正相关的关系,但该季肥料投入量并未引起实际产量显著增加,可能是由于周年肥料投入总量相同或者夏玉米生育时期较短、对于肥料消耗相对较少;研究表明,在一定范围内增加施肥量能够显著增加玉米产量,但是过量施肥反而降低玉米产量<sup>[25-28]</sup>;此外,夏玉米生育期内降水较多,容易引起氮素淋溶,降低当季作物对肥料的利用率<sup>[29-31]</sup>;相关分析也表明,当前试验条件下,玉米季施肥量与当季产量表现为负相关,因此,后续需开展降低周年肥料投入总量的研究。

从两季作物产量构成要素来讲,夏晓亮等<sup>[32]</sup>研究表明,小麦季拔节期追肥可以控制无效分蘖的发生,优化群体结构;增强管理可以提高小麦的千粒质量以及穗粒数<sup>[33]</sup>;在本试验条件下,拔节期追肥主要提高冬小麦成穗数,与前人研究基本一致;但与刘保华等<sup>[34]</sup>研究结果:在 5:5 的条件下,有利于小麦千粒质量与干物质积累存在差异,原因可能是由于试验中种植品种不同。对于玉米来说,随着当季施肥量的增加,玉米百粒质量随着施氮量的增加而增加<sup>[35]</sup>;丁民伟等<sup>[36]</sup>研究表明,玉米施氮量过低,容



易导致穗粒数减少不利于产量形成,确定当地最适施氮量为 300 kg/hm<sup>2</sup>。巨晓棠等<sup>[37-38]</sup>则认为,冬小麦对氮肥更敏感,两季作物的肥料分配应该以冬小麦为主,同时可以减少氮素损耗。该结果与本试验存在差别,可能是由于本试验中秸秆还田,对于土壤养分有一定的补偿作用。余坤等<sup>[39]</sup>试验表明,秸秆还田可以提供一定的养分,促进苗期的生长;此外,有研究表明<sup>[40-41]</sup>,秸秆还田的情况下,小麦季的肥料分配可以减少。这些可能是导致本试验与前人研究存在差异的原因。

肥料偏生产力是评价肥料效应的适宜指标。本试验中,两季作物以 3:7 的分配比例其肥料偏生产力有较好的效果。

综合产量及肥料中养分元素的偏生产力考虑,在周年肥料投入纯氮 420 kg/hm<sup>2</sup>的水平下,当地冬小麦-夏玉米肥料分配为小麦季:玉米季=3:7,且小麦季拔节期追肥比为 6:4 时,是当地最适的肥料运筹方式。

#### 参考文献:

- [1] 张福锁,王激清,张卫峰,崔振岭,马文奇,陈新平,江荣风. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报,2008(5):915-924. doi:10.3321/j.issn:0564-3929.2008.05.018.
- Zhang F S, Wang J Q, Zhang W F, Cui Z L, Ma W Q, Chen X P, Jiang R F. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008(5):915-924.
- [2] Burt P J A, Sutton M A, Howard C M, Erisman J W, Billen G, Bleeker A, Grennfelt P, Van Grinsven H, Grizzetti B. The European nitrogen assessment: sources, effects and policy perspectives [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. doi:10.1002/met.1290.
- [3] Liang H, Zhang X, Han J, Liao Y C, Liu Y, Wen X X. Integrated N management improves nitrogen use efficiency and economics in a winter wheat-summer maize multiple-cropping system[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2019, 115(3):313-329. doi:10.1007/s10705-019-10014-3.
- [4] Chen X G, Wang J, Wang Z L, Li W Y, Wang C Y, Yan S H, Li H M, Zhang A J, Tang Z H, Wei M. Optimized nitrogen fertilizer application mode increased culms lignin accumulation and lodging resistance in culms of winter wheat[J]. *Field Crops Research*, 2018, 228:31-38. doi:10.1016/j.fcr.2018.08.019.
- [5] 李晶,魏湜,商文楠,王晓楠,陈龙涛,付连双,李卓夫,李馨园. 播种方式与追肥时期对寒地冬小麦根系生理活性及子粒品质的影响[J]. 作物杂志,2013(4):100-103,159. doi:10.16035/j.issn.1001-7283.2013.04.029.
- Li J, Wei T, Shan W N, Wang X N, Chen L T, Fu L S, Li Z F, Li X Y. Effects of planting mode and fertilizing on root physiological activity and grain quality of winter wheat in cold area[J]. *Crops*, 2013(4):100-103, 159.
- [6] 陈龙涛,李晶,商文楠,李馨园,王晓楠,魏湜. 播种方式与追肥时期对黑龙江省冬小麦根系生长及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2011(5):38-42. doi:10.11838/sfsc.20110507.
- Chen L T, Li J, Shan W N, Li X Y, Wang X N, Wei T. Effects of planting modes and topdressing stage on root growth and yield of winter wheat in Heilongjiang Province[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2011(5):38-42.
- [7] 马兴华,于振文,梁晓芳,颜红,史桂萍. 施氮量和底追比例对小麦氮素吸收利用及子粒产量和蛋白质含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(2):2150-2155. doi:10.3321/j.issn:1008-505X.2006.02.002.
- Ma X H, Yu Z W, Liang X F, Yan H, Shi G P. Effects of nitrogen application rate and ratio of base and topdressing on nitrogen absorption, utilization, grain yield, and grain protein content in winter wheat[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2006, 12(2):2150-2155.
- [8] 贺明荣,杨雯玉,王晓英,王振林,杨万立. 不同氮肥运筹模式对冬小麦籽粒产量品质和氮肥利用率的影响[J]. 作物学报,2005,31(8):1047-1051. doi:10.3321/j.issn:0496-3490.2005.08.014.
- He M R, Yang W Y, Wang X Y, Wang Z L, Yang W L. Effects of different n management modes on grain yield and quality as well as fertilizer N use efficiency of winter wheat[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2005, 31(8):1047-1051.
- [9] Zhao H B, Wang Z H, Xue C, Huang D L, Malhi S S. Increased dryland winter wheat yields by nitrogen fertilizer topdressing and its relationship to soil moisture, available N, P and K in Northwestern China[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2016, 47(5):543-553. doi:10.1080/00103624.2016.1141917.
- [10] Dhillon J, Eickhoff E, Aula L, Omara P, Weymeyer G, Nambi E, Oyebiyi F, Carpenter T, Raun W. Nitrogen management impact on winter wheat grain yield and estimated plant nitrogen loss[J]. *Agronomy Journal*, 2020, 112(1):564-577. doi:10.1002/agj2.20107.
- [11] Zhao H B, Si L Z. Effects of topdressing with nitrogen fertilizer on wheat yield, and nitrogen uptake and utilization efficiency on the Loess Plateau[J]. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 2015, 65(8):681-687. doi:10.1080/09064710.2015.1045933.
- [12] 赵广才,李春喜,张保明,王崇义. 不同施氮比例和时期对冬小麦氮素利用的影响[J]. 华北农学报,2000,15(3):99-102. doi:10.3321/j.issn:1000-7091.2000.03.020.
- Zhao G C, Li C X, Zhang B M, Wang C Y. Effects of different proportion and stage of nitrogen application on nitrogen utilization in winter wheat[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2000, 15(3):99-102.
- [13] 石玉,于振文,李延奇,王雪. 施氮量和底追肥比例对冬小麦产量及肥料氮去向的影响[J]. 中国农业科学,2007,40(1):54-62. doi:10.1007/s10705-019-10014-3.
- Shi Y, Yu Z W, Li Y Q, Wang X. Effects of nitrogen fertilizer rate and ratio of base and topdressing on winter wheat yield and fate of fertilizer nitrogen[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(1):54-62.
- [14] 王宜伦,白由路,谭金芳,刘举,卢艳丽,韩燕来. 采用粒片状肥料实现夏玉米一次施肥的可行性研究[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(4):1126-1132. doi:10.11674/zwylf.15037.

- Wang Y L, Bai Y L, Tan J F, Liu J, Lu Y L, Han Y L. Availability study of once quantitative fertilization in summer maize using fertilizer tablets[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2016, 22(4): 1126 - 1132.
- [15] 孙云保, 张民, 郑文魁, 耿计彪, 杨力, 李家康. 控释氮肥对小麦-玉米轮作产量和土壤养分状况的影响[J]. *水土保持学报*, 2014, 28(4): 115 - 121. doi:10.13870/j.cnki.stbxb.2014.04.021.
- Sun Y B, Zhang M, Zheng W K, Geng J B, Yang L, Li J K. Effects of controlled release nitrogen fertilizer on yield and soil nutrient regime of wheat-corn rotation system[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2014, 28(4): 115 - 121.
- [16] 刘兆辉, 吴小宾, 谭德水, 李彦, 江丽华. 一次性施肥在我国主要粮食作物中的应用与环境效应[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(20): 3827 - 3839. doi:10.3864/j.issn.0578-1752.2018.20.002.
- Liu Z H, Wu X B, Tan D S, Li Y, Jiang L H. Application and environmental effects of one-off fertilization technique in major cereal crops in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(20): 3827 - 3839.
- [17] 史桂芳, 董浩, 衣文平, 孙国波, 朱国梁, 牟小翎, 曹兵. 不同用量长效控释肥对夏玉米生长发育及产量的影响[J]. *山东农业科学*, 2017, 49(7): 95 - 98. doi:10.14083/j.issn.1001-4942.2017.07.020.
- Shi G F, Dong H, Yi W P, Sun G B, Zhu G L, Mou X L, Cao B. Effects of different application rates of long-term controlled-release fertilizer on growth, development and yield of summer maize[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2017, 49(7): 95 - 98.
- [18] Liu L, Yao S, Zhang H T, Muhammed A Y, Xu J X, Li R N, Zhang D J, Zhang S L, Yang X Y. Soil nitrate nitrogen buffer capacity and environmentally safe nitrogen rate for winter wheat-summer maize cropping in Northern China[J]. *Agricultural Water Management*, 2018, 213(445): 453. doi:10.1016/j.agwat.2018.11.001.
- [19] 席吉龙, 李永山, 王珂, 杨娜, 郝佳丽, 张建诚, 武雪萍. 氮肥对麦-玉米轮作体系产量和氮肥效率的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2019(1): 10 - 15. doi:10.11838/sfsc.1673-6257.18144.
- Xi J L, Li Y S, Wang K, Yang N, Hao J L, Zhang J B, Wu X P. Effect of nitrogen fertilizer on yield and nitrogen use efficiency in winter wheat-summermaize rotation system[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2019(1): 10 - 15.
- [20] 韩小伟, 张慧, 薛艳芳, 钱欣, 王竹, 赵海军, 高英波, 李宗新. 周年氮肥统筹对冬小麦、夏玉米生理特性及干物质积累的影响[J]. *山东农业科学*, 2019, 51(6): 91 - 96. doi:10.14083/j.issn.1001-4942.2019.06.018.
- Han X W, Zhang H, Xue Y F, Qian X, Wang Z, Zhao H J, Gao Y B, Li Z X. Effects of annual nitrogen fertilizer planning on physiological characteristics and dry matter accumulation of winter wheat and summer maize[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2019, 51(6): 91 - 96.
- [21] 薛泽民, 要娟娟, 赵萍萍, 王宏庭. 氮肥分配对冬小麦/夏玉米轮作产量和氮肥效率的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2012(1): 59 - 63, 102. doi:10.11838/sfsc.20120111.
- Xue Z M, Yao J J, Zhao P P, Wang H T. Influence of nitrogen fertilizer distribution on production and nitrogen use recovery within the rotation of winter wheat and summer maize[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2012(1): 59 - 63, 102.
- [22] 宋春莲, 罗来君. 冬小麦氮肥运筹及简化施肥技术研究[J]. *现代农业科技*, 2019, 756(22): 7 - 8.
- Song C L, Luo L J. Research on nitrogenous fertilizer operation and simplified fertilization technology of winter wheat[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2019, 756(22): 7 - 8.
- [23] 张向前, 徐云姬, 杜世州, 严文学, 袁立伦, 乔玉强, 陈欢, 赵竹, 李玮, 曹承富. 氮肥运筹对稻茬麦区弱筋小麦生理特性、品质及产量的调控效应[J]. *麦类作物学报*, 2019, 39(7): 810 - 817. doi:10.7606/j.issn.1009-1041.2019.07.08.
- Zhang X Q, Xu Y J, Du S Z, Yan W X, Yuan L L, Qiao Y Q, Chen H, Zhao Z, Li W, Cao C F. Regulation effect of nitrogen application on physiological characteristics, quality and yield of weak gluten wheat in rice-wheat cropping area[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2019, 39(7): 810 - 817.
- [24] 李春喜, 杨明达, 马守臣, 杨慎骄, 张素瑜, 关小康, 王同朝. 氮肥基追比对冬小麦调亏灌溉的调控作用[J]. *麦类作物学报*, 2015, 35(6): 820 - 828. doi:10.7606/j.issn.1009-1041.2015.06.13.
- Li C X, Yang M D, Ma S C, Yang S J, Zhang S Y, Guan X K, Wang T C. Effect of the nitrogen fertilizer ratio of basal application and top dressing on physiological traits and yield of winter wheat under regulated deficit irrigation[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2015, 35(6): 820 - 828.
- [25] 张伟纳, 刘宇娟, 董成, 谢迎新, 马冬云, 赵旭, 岳艳军, 王晨阳, 郭天财. 氮肥运筹对潮土冬小麦/夏玉米产量及氮肥利用率的影响[J]. *土壤学报*, 2019, 56(1): 165 - 175. doi:10.11766/trxb201805210207.
- Zhang W N, Liu Y J, Dong C, Xie Y X, Ma D Y, Zhao X, Yue Y J, Wang C Y, Guo T C. Effect of nitrogen application on yield and nitrogen use efficiency of winter wheat and summer maize in fluvo-aquic soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2019, 56(1): 165 - 175.
- [26] 茹淑华, 张国印, 孙世友, 耿暖, 王凌, 陈贵今. 施氮量对冬小麦-夏玉米轮作体系中土壤硝态氮分布和累积的影响[J]. *华北农学报*, 2011, 26(S2): 85 - 89. doi:10.7668/hbnxb.2011.s2.020.
- Ru S H, Zhang G Y, Sun S Y, Geng N, Wang L, Chen G J. Effect of nitrogen application rate on nitrate nitrogen distribution and accumulation in soils in wheat-maize rotation system[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2011, 26(S2): 85 - 89.
- [27] 李格, 白由路, 杨俐苹, 卢艳丽, 王磊, 张静静, 张银杰. 华北地区夏玉米滴灌施肥的肥料效应[J]. *中国农业科学*, 2019, 52(11): 1930 - 1941. doi:10.3864/j.issn.0578-1752.2019.11.008.
- Li G, Bai Y L, Yang L P, Lu Y L, Wang L, Zhang J J, Zhang Y J. Effect of drip fertigation on summer maize in North China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(11): 1930 - 1941.
- [28] 姜涛. 氮肥运筹对夏玉米产量、品质及植株养分含量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(3): 559 - 565. doi:10.1008-505X(2013)03-0559-07.
- Jiang T. Effects of nitrogen application regime on yield, quality and plant nutrient contents of summer maize[J].



- Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2013, 19(3): 559 – 565.
- [29] 杨晓梅,尹昌斌,李贵春,南云不二男. 氮肥减量及秸秆替代过量氮肥下冬小麦/夏玉米轮作体系氮素淋失风险研究[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(7): 116 – 122. doi: 10. 7621/cjarrp. 1005-9121. 20160717. Yang X M, Yin C B, Li G C, Nagumo F. Effects of reducing nitrogen application and replacing part of nitrogen fertilizer by crop residue on nitrogen leaching in winter wheat-summer corn system[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2016, 37(7): 116 – 122.
- [30] 巨晓棠,潘家荣,刘学军,张福锁. 北京郊区冬小麦/夏玉米轮作体系中氮肥去向研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(3): 264 – 270. doi: 10. 3321/j. issn: 1008-505X. 2003. 03. 002. Jü X T, Pan J R, Liu X J, Zhang F S. Study on the fate of nitrogen fertilizer in winter wheat/summer maize rotation system in Beijing suburban[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2003, 9(3): 264 – 270.
- [31] Xu J T, Cai H J, Wang X Y, Ma C G, Lu Y J, Ding Y B, Wang X W, Chen H, Wang Y F, Saddique Q. Exploring optimal irrigation and nitrogen fertilization in a winter wheat-summer maize rotation system for improving crop yield and reducing water and nitrogen leaching [J]. *Agricultural Water Management*, 2020, 228: 105904. doi: 10. 1016/j. agwat. 2019. 105904.
- [32] 夏晓亮,石祖梁,荆奇,戴廷波,姜东,曹卫星. 氮肥运筹对稻茬小麦土壤硝态氮含量时空分布和氮素利用的影响[J]. 土壤学报, 2010, 47(3): 490 – 496. doi: 10. 11766/trxb200804110314. Xia X L, Shi Z L, Jing Q, Dai T B, Jiang D, Cao W X. Effects of nitrogen fertilization on spatial-temporal distributions of soil nitrate and nitrogen utilization in wheat season of rice-wheat systems[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47(3): 490 – 496.
- [33] 雷钧杰,张永强,赛力汗·赛,薛丽华,梁玉超,张宏芝,陈兴武,王志敏. 施氮量对滴灌冬小麦干物质积累、分配与转运的影响[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(8): 1078 – 1086. doi: 10. 7606/j. issn. 1009-1041. 2017. 08. 11. Lei J J, Zhang Y Q, Sailihan S, Xue L H, Liang Y C, Zhang H Z, Chen X W, Wang Z M. Effect of nitrogen application rate on dry matter accumulation, distribution and translocation of winter wheat under drip irrigation [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2017, 37(8): 1078 – 1086.
- [34] 刘保华,苏玉环,马永安,陈冬梅,王雪香,张清华,张恒,杨璞,李平. 氮肥基追比对冀南麦区冬小麦产量及主要农艺性状的影响[J]. 河北农业科学, 2019, 23(3): 76 – 79. doi: 10. 12148/hbnykx. 20190076. Liu B H, Su Y H, Ma Y A, Chen D M, Wang X X, Zhang Q H, Zhang H, Yang P, Li P. Effects of base-topdressing ratio of nitrogen fertilizer on yield and main agronomic characters of winter wheat in southern Hebei Province [J]. *Journal of Hebei Agricultural Science*, 2019, 23(3): 76 – 79.
- [35] 孙志考,田北京,王月福,赵长星,林琪,杜金哲,王瑞英. 冬小麦-夏玉米复种连作体系下氮肥周年运筹对其产量及构成要素的影响[J]. 华北农学报, 2013, 28(3): 164 – 170. doi: 10. 3969/j. issn. 1000-7091. 2013. 03. 029. Sun Z K, Tian B J, Wang Y F, Zhao C L, Lin Q, Du J Z, Wang R Y. Effects of nitrogen fertilizer annual management on grain yield and yield components of wheat and maize in winter wheat-summer maize continuous cropping system [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2013, 28(3): 164 – 170.
- [36] 丁民伟,杜雄,刘梦星,张建恒,崔彦宏. 氮素运筹对夏玉米产量形成与氮素利用效果的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5): 1100 – 1107. doi: 10. 11674/zwyf. 2010. 0509. Ding M W, Du X, Liu M X, Zhang J H, Cui Y H. Effects of nitrogen management modes on yield formation and nitrogen utilization efficiency of summer maize[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2010, 16(5): 1100 – 1107.
- [37] 巨晓棠,刘学军,张福锁. 冬小麦与夏玉米轮作体系中氮肥效应及氮素平衡研究[J]. 中国农业科学, 2002, 35(11): 1361 – 1368. doi: 10. 3321/j. issn: 0578-1752. 2002. 11. 011. Jü X T, Liu X J, Zhang F S. Study on effect of nitrogen fertilizer and nitrogen balance in winter wheat and summer maize rotation system[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(11): 1361 – 1368.
- [38] 巨晓棠,刘学军,邹国元,王朝辉,张福锁. 冬小麦/夏玉米轮作体系中氮素的损失途径分析[J]. 中国农业科学, 2002, 35(12): 1493 – 1499. doi: 10. 3321/j. issn: 0578-1752. 2002. 12. 011. Jü X T, Liu X J, Zou G Y, Wang Z H, Zhang F S. Evaluation of nitrogen loss way in winter wheat and summer maize rotation system [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(12): 1493 – 1499.
- [39] 余坤,冯浩,赵英,董勤各. 氨化秸秆还田加快秸秆分解提高冬小麦产量和水分利用效率[J]. 农业工程学报, 2015, 31(19): 103 – 111. doi: 10. 11975/j. issn. 1002-6819. 2015. 19. 015. Yu K, Feng H, Zhao Y, Dong Q G. Ammoniated straw incorporation promoting straw decomposition and improving winter wheat yield and water use efficiency [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(19): 103 – 111.
- [40] 刘海忠,王保强,武玉华,徐有,张庆江. 小麦、夏玉米两茬秸秆还田不同耕作方式施肥技术研究[J]. 河北农业大学学报, 2004, 27(3): 7 – 9, 20. doi: 10. 3969/j. issn. 1000-1573. 2004. 03. 002. Liu H Z, Wang B Q, Wu Y H, Xu Y, Zhang Q J. Study on fertilizer application technique under the different cultivation systems for farming land of returning wheat and corn stalks into the soil [J]. *Journal of Hebei Agriculture University*, 2004, 27(3): 7 – 9, 20.
- [41] 金艳,朱统泉,陈杰. 秸秆还田与不同基追比氮肥配施对小麦产量形成的影响[J]. 作物杂志, 2014(5): 68 – 72. doi: 10. 16035/j. issn. 1001-7283. 2014. 05. 017 Jin Y, Zhu T Q, Chen J. Effects of straw application and nitrogen fertilizer at different ratio of basal and topdressing on the yield formation [J]. *Crops*, 2014(5): 68 – 72.