植物营养与肥料学报 2011,17(1):1-8
Plant Nutrition and Fertilizer Science

不同栽培模式及施氮对半旱地冬小麦/夏玉米氮素累积、分配及氮肥利用率的影响

张 宏,周建斌*,刘 瑞,张 鹏,郑险峰,李生秀
(西北农林科技大学资源环境学院,陕西杨凌 712100)

摘要:在陕西关中地区进行田间试验,研究了不同栽培模式、施氮量对夏玉米和冬小麦地上部分氮素的累积、分配和利用效率的影响。结果表明:垄沟栽培模式显著增加了成熟期夏玉米的氮素累积总量及各个器官的氮素累积量,其余处理下成熟期夏玉米和冬小麦的氮素累积量差异未达显著水平;不同栽培模式下,小麦的各器官除叶片的氮素累积量差异达显著外,其余器官的氮素累积量均未达到显著水平;不同栽培模式下,小麦各器官对子粒氮素的贡献为垄沟>常规>覆草>控水;与不施氮肥相比较,施氮处理(N 120 kg/hm^2 和 N 240 kg/hm^2)显著增加了作物氮素累积量;两个施氮肥水平相比,高氮处理显著提高氮素累积量,但小麦花后营养器官氮素向子粒转运和分配两个水平间无显著差异;随着氮肥用量的增加,氮肥利用效率和氮肥农学效率均呈现降低趋势。

关键词:栽培模式;施氮量;氮素累积;氮肥利用效率
中图分类号:S51.062.01　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2011)01-0001-08

Effects of different cultivation patterns and nitrogen fertilizer on accumulation, distribution and use efficiency of nitrogen in winter wheat/summer maize rotation system on semi-dryland farming

ZHANG Hong, ZHOU Jian-bin*, LIU Rui, ZHANG Peng, ZHENG Xian-feng, LI Sheng-xiu
(*College of Resources and Environment Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China*)

Abstract: A field experiment was conducted in the Guanzhong region of Shaanxi Province to study the effects of different cultivation patterns and N fertilization on the accumulation, partition and use efficiency of N in maize and winter wheat rotation. The results showed that the furrow planting pattern significantly increased the N accumulation in maize during its mature stage, whereas other cultivation patterns had no significant effects on the N accumulation in the maize and wheat. Different cultivation patterns had significant effect on the N accumulation in leaves of wheat, while had no effects on other organs of maize and wheat. The contribution of N from different organs to grain increased in the order: furrow planting > conventional > straw mulching > water-controlled. Applying N fertilizer (including N 120 kg/ha and N 240 kg/ha) increased the N accumulation in the crop in comparison with the control. The N accumulation in treatment of N 240 kg/ha was significantly higher than that of N 120 kg/ha treatment. However, there were no significant differences in the N translocation from different organs to grains and partition between the two N fertilizer treatments during the anthesis stage. As the increasing of N fertilizer rates, the N use efficiency and N agronomic efficiency decreased.

Key words: cultivation patterns; nitrogen fertilizer; nitrogen accumulation; nitrogen use efficiency

---

收稿日期:2010-05-11　　**接受日期**:2010-08-19
基金项目:国家自然科学基金重点项目(30230230);国家"十一五"科技支撑计划课题(2008BADA4B09);西北农林科技大学拔尖人才支持计划(2006)项目资助。
作者简介:张宏(1983—),男,陕西南郑人,硕士,主要从事植物营养与环境方面研究。E-mail:zhanghong0311@126.com
* 通讯作者 Tel:029-87082793, E-mail:jbzhou@nwsuaf.edu.cn

冬小麦-夏玉米轮作是我国北方半干旱及半湿润地区较为广泛的种植制度,但水资源匮乏,全年降水分布不均匀,是限制这一地区农业持续发展的关键因素之一。以关中地区为例,人均占有水资源量326 m^3,相当于全国平均水平(2300 m^3)的14.1%;每公顷耕地占有水资源量4290 m^3,相当于全国平均水平(23715 m^3)的18.1 %,属水资源严重缺乏区[1]。而农业用水占这一地区总用水量的70%左右,随着工业及社会的发展,农业用水量短缺问题会越来越突出。因此,采取有限灌溉与蓄水保墒栽培相结合的半旱地农业栽培模式(秸秆或地膜覆盖、垄沟栽培等)是这一地区农业发展的出路[2-4]。不同栽培模式通过调节作物对水分利用的大小来改善作物对氮素的吸收和累积,而且不同年份各栽培模式下作物氮素累积数量、分配率及氮肥利用效率存在变异,这与不同年份作物生长期间的降水、温度等气候因素很有关系[5]。

氮素与作物的产量和品质以及氮素利用效率有密切的关系,关于施用氮肥对玉米和小麦氮素吸收、累积及转运的影响有不少的报道[6-9]。氮肥用量过多,会延缓作物的衰老进程,不利于营养器官中的碳水化合物和氮素向子粒转移,最终导致产量和蛋白质含量降低。不少研究表明,改善土壤水分状况可促进氮素的吸收及氮素由营养器官向子粒的转移,提高氮肥利用效率[5,10-13]。因此,半旱地栽培下采用的有限灌溉与秸秆或地膜覆盖、垄沟栽培等蓄水保墒措施对冬小麦-夏玉米轮作体系氮素累积、分配及转移的影响是值得研究的问题。因此,我们以在陕西关中地区进行的冬小麦-夏玉米轮作长期定位试验为研究对象,对这一问题进行了研究,旨在为小麦-玉米轮作体系下作物高产及资源高效利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

田间试验始于2003年6月,设在西北农林科技大学农作一站(东经108°04′07″,北纬34°17′56″)。该地位于渭河三级阶地,海拔523 m,年平均气温13℃,极端最高气温42℃,极端最低气温-19.4℃。年平均降水量600～650 mm,分布不均,主要集中在7、8、9三个月(占年降水量的60%～65%),冬、春季易发生旱情,年均蒸发量1400 mm,属于半湿润易旱区。供试土壤为塿土,系统分类为土垫旱耕人为土。耕层土壤质地属粉砂质粘壤土,试验开始前(2003年)表层0—20 cm土壤有机质含量15.22 g/kg,全氮0.67 g/kg,硝态氮13.5 mg/kg,铵态氮1.9 mg/kg,速效磷(Olsen-P)17.2 mg/kg,速效钾169.4 mg/kg,pH(水土比5:1)8.25。

1.2 田间试验设计与管理

田间试验设栽培模式和氮肥两个因素,采用裂区设计,栽培模式为主处理,分别为覆草、垄沟、控水和常规四种方式,其中覆草模式于小麦或玉米播种出苗后在作物行间覆盖麦草(2008年开始小麦种植期间覆盖玉米秸秆,玉米种植期间覆盖麦草),用量均为4500 kg/hm^2(干重);垄沟模式采用垄上覆膜、沟内覆草的方式,垄沟比为30 cm:30 cm,覆草量2250 kg/hm^2(干重);控水是指在冬小麦期间不灌水,在玉米生长期间灌水量为常规的一半。氮肥为副处理,每季作物用量分别为N 0、120和240 kg/hm^2,分别用N0、N120和N240表示。共12个处理,小区面积18 m^2(4 m×4.5 m),重复4次,共48个小区。小麦品种为小偃22,玉米品种为陕单902(2008年开始为郑单958)。

实行冬小麦-夏玉米轮作种植方式,一年两熟。小麦生长期间,常规模式在小麦越冬期进行冬灌,灌水量为40 mm,其余三种模式均不进行冬灌。玉米生长期间,常规无覆盖模式指采用当地习惯灌水的方法,灌水量和时间与当地大田相近,2003年玉米生长期间由于降水量丰富(为750 mm),所有栽培模式均未灌溉,2004年以后,常规模式的灌水量为45 mm,其余三种栽培模式的灌水量较常规模式减少一半。磷肥作为底肥,用量为P_2O_5 80 kg/hm^2,除试验开始时(2003年6月)施于玉米茬外,其他年份均施于小麦茬。氮肥选用尿素(含N 46%),两种肥料在小麦播种前均匀撒入相应小区,翻入土壤耕层后耙平;在玉米种植期间,氮肥采用分期施用,其中苗期和拔节期追肥分别占总施氮量的1/3和2/3,穴施。

1.3 取样和分析方法

本试验样品采自2008年6月～2009年6月作物生长期间。在玉米成熟后,从每个小区中选取代表该小区作物长势的样品3株,称鲜重,将其分为茎秆、叶片、雄穗、苞叶、穗轴和子粒6部分,分别称重,烘干,再称重,粉碎。在小麦返青期(3月9日),开花期(4月28日)和收获期采集植物样品,采样时在每个小区对角线位置分别采集两段0.5 m长且能代表该小区作物长势的样品,按茎秆、叶片、颖壳和子

粒等器官将样品分开后称重,随后烘干,再称重,粉碎。采用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 湿消化法消化,用连续流动分析仪(AA3)测定全氮含量。

根据下列公式计算作物氮素转移、利用效率等指标:

氮素累积量 = 氮素含量×干物质质量;

氮素分配率(%) = 植株器官氮素阶段累积量/植株地上部阶段总氮素累积量×100;

氮肥利用效率(%) = (施氮处理植株吸氮量-不施氮处理植株吸氮量)/施氮量×100;

氮肥农学效率 = (施氮区产量-不施氮区产量)/施氮量。

某一营养器官氮素转运的计算:

某营养器官氮素转运量 = 开花期该营养器官氮累积量-成熟期该营养器官氮累积量;

某营养器官转运氮对子粒的贡献率(%) = 该营养器官氮转运量/子粒氮累积量×100。

1.4 数据处理

采用 Excel 2003 和 SAS 8.0 进行数据处理,不同处理的比较按照裂区试验设计进行,用 DUCAN 法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同栽培模式及施氮量对夏玉米/冬小麦不同时期氮素累积量的影响

2.1.1 不同处理对夏玉米成熟期氮素累积量的影响　由表 1 可以看出,不同栽培模式相比,垄沟模式下玉米成熟期植株的平均吸氮量最高,比常规模式增加了 16.66 kg/hm^2,差异达显著水平;覆草和控水模式均降低了氮素的累积量,但差异未达显著水平。不同栽培模式下,随着施氮量的增加,玉米植株的氮素累积量均增加。N120 和 N240 处理下玉米植株的氮素平均累积量比 N0 处理分别提高了 76.74% 和 110.55%,增加量显著。

表 1　不同栽培模式及施氮量对夏玉米成熟期氮素累积量的影响(kg/hm^2)

Table 1　The amount of N accumulated in summer-maize in mature stage under different cultivation methods and nitrogen fertilizer rates

施氮量 Nitrogen rate	栽培模式 Cultivation method				平均值 Average
	常规 Conventional	控水 Water-controlled	覆草 Straw mulching	垄沟 Furrow planting	
0	66.85 ± 2.47	57.80 ± 8.67	49.78 ± 2.60	82.62 ± 0.58	64.26 c
120	121.81 ± 6.18	97.83 ± 3.68	104.8 ± 0.72	129.83 ± 7.95	113.57 b
240	125.89 ± 8.82	125.61 ± 6.88	137.6 ± 8.00	152.09 ± 2.24	135.30 a
平均值 Average	104.85 B	93.75 B	97.39 B	121.51 A	

注(Note): 同一行或同一列中不同字母者表示差异显著($P<0.05$) Different letters within a column or a row mean significant difference at 5% level.

2.1.2 不同处理对冬小麦不同生育期氮素累积量的影响　从表 2 可以看出,冬小麦各个时期的氮素累积量因栽培模式和施氮量的不同而存在一定的差异。不同栽培模式下,冬小麦氮素累积量随生长时期的变化而变化,从播种到返青期,垄沟模式的氮素累积量最高,控水模式的氮素累积量最低。从返青期到开花期,常规和垄沟模式的植株氮素累积量结果相似,控水模式最低。到成熟期,常规模式的植株氮素累积量最高,达到 136.90 kg/hm^2,而垄沟栽培模式最低,比常规模式降低了 16.81 kg/hm^2,但差异未达显著水平。从冬小麦氮素阶段累积量来看,随着小麦生育期的推移,植株的氮素累积量增加。从返青期到成熟期,常规模式植株氮素累积量最大,达到 95.74 kg/hm^2,垄沟模式氮素累积量最低,比常规模式减少 26.32%。

与不施氮肥相比较,施用氮肥显著增加了冬小麦不同生育时期地上部分氮素累积量。返青期后,施氮处理冬小麦植株的氮素累积量呈迅速增加的趋势,到成熟期 N120 和 N240 处理冬小麦植株氮素累积量分别比 N0 处理的高 165.89% 和 218.27%。从返青期到成熟期,随施氮量的增加,冬小麦地上部分氮素累积量的增加接近线性关系。

表2 不同栽培模式及施氮量对冬小麦各时期氮素累积量的影响(kg/hm²)

Table 2 The amount of N accumulated in winter wheat in different stages under different cultivation methods and nitrogen fertilizer rates

生育期 Growth stage	施氮量 Nitrogen rate	栽培模式 Cultivation method				平均值 Average
		常规 Conventional	控水 Water-controlled	覆草 Straw mulching	垄沟 Furrow planting	
返青期 Reviving stage	0	15.53 ± 1.35	10.6 ± 2.06	14.33 ± 6.31	13.13 ± 1.18	13.40 c
	120	41.91 ± 4.22	40.91 ± 3.43	47.64 ± 15.38	49.01 ± 3.37	44.87 b
	240	66.04 ± 13.66	43.67 ± 1.5	53.73 ± 5.55	70.76 ± 11.34	58.55 a
	平均值 Average	41.16 AB	31.73 B	38.57 AB	44.3 A	
花期 Anthesis stage	0	33.24 ± 9.23	30.25 ± 6.24	25.29 ± 5.08	33.44 ± 3.95	30.55 c
	120	131.53 ± 16.28	101.42 ± 14.58	140.31 ± 0.53	143.33 ± 29.57	129.15 b
	240	166.88 ± 0.85	128.53 ± 23.93	115.35 ± 9.28	155.06 ± 30.97	141.46 a
	平均值 Average	110.55 A	86.73 B	93.65 AB	110.61 A	
成熟期 Mature stage	0	68.88 ± 6.15	55.4 ± 4.93	51.83 ± 2.83	45.64 ± 5.9	55.44 c
	120	148.09 ± 18.19	144.11 ± 30.65	144.91 ± 33.17	152.54 ± 21.28	147.41 b
	240	193.74 ± 11.77	182.75 ± 52.26	167.20 ± 41.16	162.1 ± 18.06	176.45 a
	平均值 Average	136.90 A	127.42 A	121.31 A	120.09 A	

注(Note):同一行或同一列中不同字母者表示差异显著($P<0.05$) Different letters within a column or a row mean significant difference at 5% level.

2.2 不同栽培模式及施氮量对夏玉米/冬小麦成熟期不同器官氮素分配的影响

2.2.1 不同处理对夏玉米成熟期不同器官氮素分配的影响 由表3可以看出,玉米成熟期垄沟栽培模式玉米叶片、雄穗、苞叶、茎秆、子粒和穗轴氮素累积量均较其它模式高。除覆草模式玉米的雄穗氮素累积量显著低于常规模式外,常规、控水和覆草模式下其它玉米各器官的氮素累积量变化均不大。控水模式和覆草模式的子粒氮素累积量显著低于垄沟模式(分别降低22.17和14.87 kg/hm²)。不同栽培模式下玉米子粒的氮素分配率变化范围为63.3%~69.9%,约占整个植株氮素累积量的2/3左右。

与不施氮肥相比较,施用氮肥显著增加了玉米成熟期各个器官的氮素累积量,表明施用氮肥促进了玉米氮素吸收;当氮肥用量由120 kg/hm²增加到240 kg/hm²,叶片、雄穗、苞叶、茎秆、子粒和穗轴氮素累积量的增加幅度降低,除雄穗和苞叶增加未达到显著水平外,其它4个器官氮素累积量增加均达显著水平。N240处理下玉米茎秆的氮素分配率显著高于N120处理,但子粒中氮的分配率却降低,表明过量施用氮肥会造成植株的贪青旺长,大量氮素残留在茎秆中,不利于氮素向子粒中转移,造成氮素的浪费。

2.2.2 不同处理对冬小麦成熟期不同器官氮素分配的影响 从小麦成熟期不同器官氮素累积量和分配率看(表4),各栽培模式下小麦器官氮素累积量和分配率的大小顺序为:子粒>颖壳和穗轴>叶片>茎秆。4种不同栽培模式小麦的各器官除叶片的氮素累积量差异达显著外,其余器官的均未达到显著水平。不同栽培模式下小麦子粒氮素累积量占植株氮素总累积量70%以上。

与不施氮肥相比较,施用氮肥显著增加了叶片、茎秆、颖壳和穗轴及子粒的氮素累积量,当氮肥用量由120 kg/hm²增加到240 kg/hm²时,小麦各器官的氮素累积量的增加幅度较小。从氮素的分配看,叶片及颖壳和穗轴的分配率随施氮量的增加而降低,茎秆的氮素分配率随氮肥用量的增加其变化幅度很小。N240和N120处理下子粒的氮素分配率无显著差异。

2.3 开花后冬小麦各营养器官贮存氮素向子粒的转运

收获后小麦子粒中的氮素来源有两个方面:一

表 3　不同处理对夏玉米成熟期不同器官氮素累积量及分配率的影响

Table 3　Effects of different treatments on accumulation and partition of nitrogen in summer-maize in mature stage

处理 Treatment	叶片 Leaf		雄穗 Tassel		苞叶 Bract		茎秆 Stem		子粒 Kernel		穗轴 Axle	
	累积量 Accum. (kg/hm²)	分配率 Distr. Rate (%)	累积量 (kg/hm²) Accum.	分配率 Distr. Rate (%)	累积量 Accum. (kg/hm²)	分配率 Distr. Rate (%)	累积量 Accum. (kg/hm²)	分配率 Distr. Rate (%)	累积量 Accum. (kg/hm²)	分配率 Distr. Rate (%)	累积量 Accum. (kg/hm²)	分配率 Distr. Rate (%)
常规 Conventional	19.97 A	19.1	1.67 B	1.6	1.53 A	1.5	7.43 B	7.1	73.25 AB	69.9	0.99 B	0.9
控水 Water-controlled	23.55 A	25.1	1.65 B	1.8	1.26 A	1.3	7.09 B	7.6	59.38 B	63.3	0.82 B	0.9
覆草 Straw mulching	19.63 A	20.2	1.26 C	1.3	1.60 A	1.6	7.34 B	7.5	66.68 B	68.5	0.89 B	0.9
垄沟 Furrow planting	23.98 A	19.7	1.85 A	1.5	1.84 A	1.5	10.89 A	9.0	81.55 A	67.1	1.40 A	1.1
N0	14.90 c	23.2	1.26 b	2.0	1.20 b	1.9	4.91 c	7.6	41.28 c	64.2	0.72 c	1.1
N120	22.63 b	19.9	1.84 a	1.6	1.61 a	1.4	7.86 b	6.9	78.59 b	69.2	1.04 b	0.9
N240	27.82 a	20.6	1.72 a	1.3	1.85 a	1.4	11.80 a	8.7	90.79 a	67.1	1.31 a	1.0

注(Note): 同列数据后不同大、小写字母分别表示不同栽培模式间和不同施氮水平间差异显著($P<0.05$) Values followed different capital and small letters within a column are significant among different cultivation methods and different N treatments at 5% level, respectively.

表 4　不同处理对冬小麦成熟期不同器官氮素累积量及分配率的影响

Table 4　Effects of different treatment on accumulation and partition of nitrogen in winter-wheat in mature stage

处理 Treatment	叶片 Leaf		茎秆 Stem		颖壳 + 穗轴 Glume & Rachis		子粒 Kernel	
	累积量 Accum. (kg/hm²)	分配率 Distr. rate (%)	累积量 Accum. (kg/hm²)	分配率 Distr. rate (%)	累积量 Accum. (kg/hm²)	分配率 Distr. rate (%)	累积量 Accum. (kg/hm²)	分配率 Distr. rate (%)
常规 Conventional	12.88 AB	9.4	10.02 A	7.3	14.48 A	10.6	99.52 A	72.7
控水 Water-controlled	12.84 AB	10.1	7.64 A	6.0	14.90 A	11.7	92.04 A	72.2
覆草 Straw mulching	13.44 A	11.1	7.79 A	6.4	13.67 A	11.3	86.41 A	71.2
垄沟 Furrow planting	11.64 B	9.7	8.43 A	7.0	12.87 A	10.7	87.15 A	72.6
N0	6.92 c	12.5	3.62 c	6.5	6.99 b	12.6	37.89 c	68.4
N120	13.82 b	9.4	9.95 b	6.7	15.83 a	10.7	107.81 b	73.1
N240	17.35 a	9.8	11.85 a	6.7	19.11 a	10.8	128.14 a	72.6

注(Note): 同列数据后不同大、小写字母分别表示不同栽培模式间和不同施氮水平间差异显著($P<0.05$) Values followed different capital and small letters within a column are significant among different cultivation methods and different N treatments at 5% level, respectively.

是开花后营养器官贮存氮素向子粒的转移，二是开花后植株从土壤吸收的氮。由表5可以看出，各栽培模式下，各个器官氮素向子粒的转移量均为茎秆>叶片>颖壳和穗轴。垄沟模式下小麦花后各器官向子粒转移的氮素高于其它三种模式，控水模式下各器官的氮素转移量最低。控水模式下各营养器官转移至子粒中的氮素只有58%，而垄沟模式最高，达到89.1%，不同栽培模式下各器官对子粒氮素的贡献为：垄沟>常规>覆草>控水。

施用氮肥，显著提高了花后小麦各营养器官氮素向子粒的转移，当氮肥用量由120 kg/hm^{2}增加到240 kg/hm^{2}时，各营养器官向子粒中转移的氮素无明显变化，而对子粒氮的贡献率降低，表明当施氮量超过一定水平，不利于营养器官中氮素向子粒的转移。

表5 小麦花后各营养器官氮素转运及对子粒的贡献率

Table 5 N mobilization of different organs and their contributions to grain N in winter wheat after anthesis

处理 Treatment	叶片 Leaf		茎秆 Stem		颖壳+穗轴 Glume & Rachis	
	转移量 TANM (kg/hm^2)	贡献率 CMNGN (%)	转移量 TANM (kg/hm^2)	贡献率 CMNGN (%)	转移量 TANM (kg/hm^2)	贡献率 CMNGN (%)
常规 Conventional	22.31 A	22.4	41.08 A	41.3	11.87 AB	11.9
控水 Water-controlled	14.14 B	15.4	32.01 A	34.8	7.15 B	7.8
覆草 Straw mulching	16.68 AB	19.3	36.68 A	42.4	7.79 B	9.0
垄沟 Furrow planting	23.41 A	26.9	41.33 A	47.4	12.93 A	14.8
N0	2.53 b	6.7	11.31 b	29.8	2.86 b	7.6
N120	25.90 a	24.0	49.95 a	46.3	13.70 a	12.7
N240	28.98 a	22.6	52.06 a	40.6	13.24 a	10.3

注(Note)：TANM—Total amount of N mobilized from leaves, stem, or glume and rachis; CMNGN—The contribution of mobilized N to grain N. 同列数据后不同大、小写字母分别表示不同栽培模式间和不同施氮水平间差异显著($P<0.05$) Values followed different capital and small letters within a column are significant among different cultivation methods and different N treatments at 5% level, respectively.

2.4 不同栽培模式及施氮量对夏玉米/冬小麦氮肥利用效率的影响

由表6可以看出，不同栽培模式对玉米和小麦轮作体系下的氮肥利用率和氮肥生理效率影响不同。覆草模式下玉米的氮肥利用效率和氮肥农学效率最高。垄沟模式下小麦的氮肥利用效率和氮肥农学效率最高，常规模式最低。玉米和小麦的平均氮肥利用效率和氮肥农学效率大小为：覆草>垄沟>控水>常规。

各栽培模式下，随着施氮量的增加，玉米和小麦的氮肥利用率和氮肥农学效率均降低。当施氮量由120 kg/hm^{2}增加到240 kg/hm^{2}时，玉米的氮肥利用率平均降低11.49个百分点，小麦的氮肥利用率平均降低26.22个百分点；玉米的氮肥农学效率平均由7.35 kg/kg降低到4.31 kg/kg，降低幅度达41.33%，小麦的氮肥农学效率平均由21.13 kg/kg降低到12.09 kg/kg，降低幅度为42.80%。

3 讨论

本研究结果表明，在返青期和开花期下，垄沟栽培小麦的氮素累积量均高于其它栽培模式，这与邱临静等[14]的研究结果相似，表明垄上覆膜有利于花前植株氮的吸收。垄沟栽培模式显著提高了玉米成熟期地上部分的氮素累积量，而不同栽培模式下小麦成熟期地上部分的氮素累积量无显著差异，这与其它的研究结果相似[5,15]。垄沟栽培模式提高了小麦生长后期的氮素从营养器官向子粒的转运，达到89.1%，而从土壤中吸收的氮素对子粒的氮素累积贡献较小，可见垄沟栽培小麦生长后期氮素的累积主要来源于茎叶在前期累积氮素的转移，李华等[16]

表 6　不同处理对夏玉米和冬小麦氮肥效率的影响

Table 6　Effects of different treatments on fertilizer N recovery and agronomic efficiency of summer maize and winter wheat

栽培模式 Cultivation method	施氮量 N fert. rate (kg/hm^2)	氮肥利用效率 N recovery efficiency (%)			氮肥农学效率 N agronomic efficiency(kg/kg)		
		夏玉米 Summer maize	冬小麦 Winter wheat	夏玉米+冬小麦 Summer maize & Winter wheat	夏玉米 Summer maize	冬小麦 Winter wheat	夏玉米+冬小麦 Summer maize & Winter wheat
常规	120	45.80 a	66.01ab	55.91	5.13 bc	17.79 b	11.46
Conventional	240	24.60 d	52.03 b	38.31	3.03 c	12.85 c	7.94
控水	120	33.36 bcd	73.92 ab	53.64	8.81 ab	20.55 ab	14.68
Water-controlled	240	28.20 cd	53.06 b	40.66	4.44 bc	10.28 c	7.36
覆草	120	45.85 a	77.56 ab	61.71	10.96 a	21.87 ab	16.41
Straw mulching	240	36.59 bc	48.07 b	42.33	6.62 bc	11.91 c	9.26
垄沟	120	39.34 ab	89.08 a	64.21	4.49 bc	24.30 a	14.40
Furrow planting	240	28.94 cd	48.52 b	38.73	3.15 c	13.30 c	8.23

注(Note): 同列数据后不同字母者表示差异显著($P<0.05$) Values followed by different letters in a column are significant at 5% level.

在黄土高原南部研究也有类似结果。垄沟栽培模式提高了玉米和小麦轮作体系下的氮肥利用效率,与这一模式改善了土壤水分条件,促进了作物氮素吸收有关[17]。本文中氮素利用效率的值偏高(表6),主要是由于 N0 处理已经连续 6 年不施氮肥,氮素严重耗竭引起作物产量的降低。

与常规处理相比,覆草处理玉米和小麦子粒氮素累积量虽有所下降,但差异并未达显著水平,这与张月霞等[18]的研究结果相似,这主要与覆草和常规模式的生物量没有显著差异有关。覆草模式对玉米和小麦氮素转移及利用效率的影响有所不同,覆草模式降低了小麦植株内氮素从营养器官向子粒的转移,导致氮收获指数降低; 而覆草模式提高了玉米的氮肥利用效率和氮肥农学效率,这与这一模式对玉米及小麦生长期间土壤温度的影响不同有关。

控水模式降低了作物的氮素累积量,主要与控水模式减少了作物的生物量有关。控水模式下小麦开花后各营养器官向子粒中转移氮素只有 58%,这可能是因为在小麦生长期间无灌溉,导致叶片早衰,抑制了小麦植株对氮素的吸收,虽促进氮素向子粒的转移,但因单位面积氮素吸收量少, 最终转移量不高[19]。因此,控水模式应根据作物生长年份的降水量的大小来决定灌溉量和次数,在干旱年份可适量灌溉,在降水丰富的年份,减少灌溉量或者不灌,以达到较好的效益。

与栽培模式相比较,施用氮肥对夏玉米和冬小麦的氮素累积量和分配率的影响更为显著。与不施氮肥相比较,施氮 120 kg/hm^2 和 240 kg/hm^2 处理显著增加了作物氮素累积量; 而两个施氮肥水平间相比,高氮处理显著提高了作物氮素累积量,但对于小麦花后营养器官氮素向子粒转运和分配无显著影响。随着氮肥用量的增加,氮肥利用效率和氮肥农学效率均呈现出降低趋势,这与王春阳等和郑险峰等的研究结果相似[5,8,20]。施氮 240 kg/hm^2 处理下,小麦各个生长时期的氮素累积量均显著高于施氮 120 kg/hm^2 处理,但花后向子粒的转移量相差不大,表明过高的氮肥用量,会导致氮素大量在营养器官的累积,而不利于向子粒的转移,造成了氮素的浪费。这与过量施用氮肥导致小麦生长过程中库源平衡失调有关[21]。因此,在生产中合理施用氮肥,避免过量施肥而造成大量氮素在茎秆中的残留,在提高氮素利用效率方面有重要作用。

参 考 文 献:

[1] 王菊翠,仵彦卿,党碧玲,等. 陕西关中地区水资源的可持续发展支持能力[J]. 地球科学与环境学报,2009,31(2): 177-184.
Wang C J, Wu Y Q, Dang B L *et al*. Water resources supporting capacity for sustaining development in Guanzhong region, Shaanxi province, China[J]. J. Earth Sci. Environ., 2009, 31(2), 177-184.

[2] 朱自玺,赵国强,邓天宏,等. 秸秆覆盖麦田水分动态及水分利用效率研究[J]. 生态农业研究,2000,8(1): 34-37.
Zhu Z X, Zhao G Q, Deng T H *et al*. Study of water dynamics and water use efficiency in mulched winter wheat field[J]. Eco-Agric. Res., 2000, 8(1): 34-37.

[3] 许翠平,刘洪禄,车建明,等. 秸秆覆盖对冬小麦耗水特征及水分生产率的影响[J]. 排水灌溉,2002,21(3): 24-27.

Xu C P, Liu H L, Che J M *et al*. Effects of straw mulch on water consumption and water use efficiency in winter wheat[J]. Irrig. Drain., 2002, 21(3): 24-27.

[4] 苏彩虹,郭创业. 黄土旱塬农田全程全覆盖的"土壤水库"作用[J]. 水土保持学报,2001,15(4): 87-91.
Su C H, Guo C Y. Effects of soil reservoir of full cover during whole course on loess dry farming[J]. J. Soil Water Conserv., 2001, 15(4): 87-91.

[5] 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.
Wang C Y, Zhou J B, Zheng X F *et al*. Effects of different cultivation methods and nitrogen fertilizer application on nitrogen accumulation and distribution in winter wheat on semi-dryland farming [J]. J. Northwest A & F Univ. (Nat. Sci. Ed.), 2008, 36(1): 101-108.

[6] 王小燕,于振文. 不同施氮量条件下灌溉量对小麦氮素吸收转运和分配的影响[J]. 中国农业科学,2008,41(10): 3015-3024.
Wang X Y, Yu Z W. Effect of irrigation rate on absorption and translocation of nitrogen under different nitrogen fertilizer rate in wheat[J]. Sci. Agric. Sin., 2008, 41(10): 3015-3024.

[7] 赵营,同延安,赵护兵. 不同供氮水平对夏玉米养分累积、转运及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(5): 622-627.
Zhao Y, Tong Y A, Zhao H B. Effects of different N rates on nutrients accumulation, transformation and yield of summer maize [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(5): 622-627.

[8] 宋海星,李生秀. 不同水、氮供应条件下夏玉米养分累积动态研究[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(4): 399-403.
Song H X, Li S X. Dynamics of nutrient accumulation in maize plants under different water and nitrogen supply conditions[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2002, 8(4): 399-403.

[9] 赵满兴,周建斌,杨绒,等. 不同施氮量对旱地不同品种冬小麦氮素累积、运输和分配的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(2): 143-149.
Zhao M X, Zhou J B, Yang R *et al*. Characteristics of nitrogen accumulation, distribution and translocation in winter wheat on dryland[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(2): 143-149.

[10] Plaut Z, Butow B J, Blumenthal C S, Wrigley C W. Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficits and elevated temperature[J]. Field Crops Res., 2004, 86: 185-198.

[11] Palta J A, Kobata T, Turner N C, Fillery I R. Remobilization of carbon and nitrogen in wheat as influenced by post anthesis water deficit[J]. Crop Sci., 1994, 34: 118-124.

[12] Xu Z Z, Yu Z W, Wang D, Zhang Y L. Nitrogen accumulation and translocation for winter wheat under different irrigation regimes[J]. Agron. Crop Sci., 2005, 191: 439-449.

[13] 党廷辉,郝明德,郭胜利,蔡贵信. 黄土高原南部春玉米地膜栽培的水肥效应与氮肥去向[J]. 应用生态学报,2003,14(11): 1901-1905.
Dang T H, Hao M D, Guo S L, Cai G X. Effects of plastic-film mulch on water and nitrogen use by spring maize and fate of applied nitrogen in the southern loess plateau[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2003, 14(11): 1901-1905.

[14] 邱临静,周春菊,李生秀,等. 不同栽培模式和施肥方法对旱地冬小麦氮素吸收运转的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(3): 355-360.
Qiu L J, Zhou C J, Li S X *et al*. The effects of different cultivation models and fertilizer application methods on N absorption and translocation of dryland winter wheat [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(3): 355-360.

[15] 沈新磊,黄思光,王俊,等. 半干旱农田生态系统地膜覆盖模式和施氮对小麦产量和氮效率的效应[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2003,31(1): 1-14.
Shen X L, Huang S G, Wang J *et al*. Effects of plastic film mulching models and nitrogen fertilizer on wheat yield and nitrogen efficiency[J]. J. Northwest A & F Univ. (Nat. Sci. Ed.), 2003, 31(1): 1-14.

[16] 李华,王朝辉,王西娜,李生秀. 不同栽培模式对冬小麦产量形成及氮素吸收转运的影响[J]. 农业环境科学学报,2007,26(1): 369-374.
Li H, Wang Z H, Wang X N, Li S X. Effects of cultivation types on yield formation and nitrogen accumulation and remobilization for winter wheat[J]. J. Agro-Environ. Sci., 2007, 26(1): 369-374.

[17] 卜玉山,苗果园,邵海林,王建程. 对地膜和秸秆覆盖玉米生长发育与产量的分析[J]. 作物学报,2006,32(7): 1090-1093.
Bu Y S, Miao G Y, Shao H L, Wang J C. Analysis of growth and development and yield of corn mulched with film and straw [J]. Acta Agron. Sin., 2006, 32(7): 1090-1093.

[18] 张月霞,杨君林,刘炜,等. 秸秆覆盖条件下不同施氮水平冬小麦氮素吸收及土壤硝态氮残留[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(2): 189-193.
Zhang Y X, Yang J L, Liu W *et al*. Effects of nitrogen rate on nitrogen uptake and utilization of winter wheat and residual nitrate in soil under straw mulch[J]. Agric. Res. Arid Areas, 2009, 27(2): 189-193.

[19] 黄令峰,刘义国,林琪,李景涛. 不同补灌次数对旱地高产小麦氮素运转及产量的影响[J]. 中国生态农业学报,2009,17(5): 905-908.
Huang L F, Liu Y G, Lin Q, Li J T. Effect of supplemental irrigation on nitrogen translation and high-yield wheat yield in drylands[J]. Chin. J. Eco-Agric., 2009, 17(5): 905-908.

[20] 郑险峰,周建斌,王春阳,等. 覆盖措施对夏玉米生长和养分吸收的影响[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(2): 80-83.
Zheng X F, Zhou J B, Wang C Y *et al*. Effects of different mulching methods on the growth and nutrients absorption of maize [J]. Agric. Res. Arid Areas, 2009, 27(2): 80-83.

[21] Marschner H. Mineral nutrition of higher plants[M]. San Diego, CA: Academic Press, 1995.