秸秆还田配施氮肥对冬小麦产量及氮素调控的影响

顾炽明,郑险峰,黄婷苗,侯仰毅,王朝辉
(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘　要: 以周麦 23 为供试材料,采用裂区设计的大田试验研究了关中地区秸秆还田配施不同氮肥水平对冬小麦产量及氮素调控的影响。结果表明:相较于单施氮肥处理,秸秆还田配施氮肥处理冬小麦产量在低施氮量处理时有降低的趋势,在高施氮量处理时有增加的趋势,但两者间的差异不显著;秸秆还田配施氮肥能有效提高冬小麦的氮素利用效率,冬小麦的氮肥表观利用率提高了 1.6% ~ 9.1%;秸秆还田措施配施适量的氮肥有降低冬小麦百公斤籽粒需氮量的趋势。综合考虑到生产成本及潜在环境污染的可能性因素,在秸秆还田条件下,试验地区冬小麦施氮量以 252 ~ 321 kg·hm^{-2}为宜。

关键词: 秸秆还田;氮肥;产量;氮素利用效率;冬小麦
中图分类号: S512.1^{+}1　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1000-7601(2013)05-0048-06

Effects of straw returning combined with nitrogen fertilizer application on yield of winter wheat and nitrogen regulation

GU Chi-ming, ZHENG Xian-feng, HUANG Ting-miao, HOU Yang-yi, WANG Zhao-hui
(*College of Natural Resources and Environment*, *Northwest A&F University*, *Yangling*, *Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: Using the wheat cultivar Zhoumai 23 as material, there were 10 treatments that were coded as N0, N84, NI68, N252 and N336 (standing for single nitrogen fertilizer at 0, 84, 168, 252 kg·hm^{-2} and 336 kg·hm^{-2}, respectively), and S + N0, S + N84, S + NI68, S + N252 and S + N336 (standing for 5 500 kg·hm^{-2} straw returning combined with nitrogen fertilizer at the rates as above). The results showed that, compared with the single N treatments, the yield of wheat under S + N treatments showed a trend of decrease, but the difference between them was insignificant statistically. Nitrogen fertilizer use efficiency under S + N treatments was 1.6% ~ 9.1% higher than that of N treatments. Straw returning combined with an appropriate amount of nitrogen fertilizer tended to decrease N-requirement per 100 kg grain. In conclusion, straw returning combined with nitrogen fertilizer application produced positive effects on wheat production, and 252 ~ 321 kg·hm^{-2} was a suitable rate of nitrogen application for winter wheat in the experimental area.

Keywords: straw returning; nitrogen fertilizer; grain yield; nitrogen use efficiency; winter wheat

作为农业大国,中国的农作物秸秆资源十分丰富,产量居世界首位,目前秸秆总产出量已超过 7 亿 t[1]。近年来秸秆还田技术作为中国旱地农业的一项重要栽培措施,在很多地区都得到了推广。随着农业机械化程度和农村生产力水平不断提高,秸秆还田成为小麦 - 玉米轮作区和小麦一季单作区重要的农业措施之一[2]。秸秆还田对土壤的持续生产有很重要的影响,不但补充了土壤有机质这一土壤质量核心指标[3],而且秸秆腐解矿化后还能提供重要的营养元素并改善土壤物理特性[4]、养分有效性[5-6]和土壤生物活性[7-8]。同时氮素作为农业生产中三要素最主要的营养元素,是农业生产中需要量最大的元素,对提高作物产量,改善农产品的品质有重要作用[9]。氮素营养控制着很多生理活动的正

收稿日期: 2012-11-24
基金项目: 国家现代农业产业技术体系"小麦营养与有害物质监控项目"(Z225021103);西北农林科技大学创新团队项目(Z111021012);西北农林科技大学基本科研业务费(Z109021202)
作者简介: 顾炽明(1988—),男,青海乐都人,硕士研究生,主要研究方向为植物营养调控与养分循环。E-mail:q19884171200@126.com。
通信作者: 郑险峰(1968—),男,陕西礼泉人,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为植物营养调控、肥料资源管理与利用。E-mail:zxf260@sohu.com。

常进行,影响着农作物的生长。因而如何将氮肥的施用和秸秆还田措施相结合,更好地促进干旱地区农业生产的发展,是一个非常值得研究的课题。

前人在秸秆还田对作物生长和温室气体排放以及土壤肥力变化等方面的影响已经做了较多的研究工作,然而对秸秆还田后的最佳施氮量,以及秸秆还田对冬小麦氮素吸收影响的研究还较少。本研究在冬小麦 – 夏玉米轮作体系下,设置了不同施氮量,研究秸秆还田措施对冬小麦产量及氮素养分利用状况的影响和对冬小麦氮素养分吸收的调节作用,分析了不同氮肥用量结合秸秆还田措施对冬小麦产量以及氮素养分吸收和利用影响的差异,旨在为秸秆还田条件下氮肥的优化管理提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

田间试验于 2011 年 10 月至 2012 年 6 月在陕西省周至县终南镇王才屯村进行(东经 108°22′4″,北纬 34°07′20″)。年均气温 13℃,无霜期 225 d,本试验生育期降雨量为 221 mm;供试土壤质地为黏质壤土,0 ~20 cm 土层土壤养分状况:有机质含量为 18.6 $g\cdot kg^{-1}$、全氮含量为 1.13 $g\cdot kg^{-1}$、速效钾 188 $mg\cdot kg^{-1}$、速效磷 8.51 $mg\cdot kg^{-1}$,土壤 pH 值 7.28,土壤容重为 1.21 $g\cdot cm^{-3}$。

1.2　试验设计

采用裂区设计,5 个施氮水平分别为 N0(不施氮肥)、N84(84 $kg\cdot hm^{-2}$)、N168(168 $kg\cdot hm^{-2}$)、N252(252 $kg\cdot hm^{-2}$)、N336(336 $kg\cdot hm^{-2}$)。施氮与秸秆还田(S)组合共 10 个处理:N0、N84、N168、N252、N336、S + N0、S + N84、S + N168、S + N252 和 S + N336。冬小麦品种为周麦 23,播量为 187.5 $kg\cdot hm^{-2}$,机械播种,行距为 20 cm;施肥方式:全部磷肥(重过磷酸钙)P_2O_5 150 $kg\cdot hm^{-2}$、全部钾肥(氯化钾)K_2O 135 $kg\cdot hm^{-2}$以及氮肥总用量的 60% 做底肥于深翻并设置小区后施入,其余 40% 的氮肥在拔节期锄地前追施。设 4 次重复,共 40 个小区,小区面积为 7 m × 5.8 m。秸秆不还田处理在玉米收获期间,提前将秸秆刈割移出田块。秸秆还田处理在收获时将玉米秸秆粉碎后直接翻压(深度为 40 cm),并按试验设计的处理施肥,用旋耕机浅层 20 cm 旋耕一次,最后用带有土壤压实机械的播种机播种冬小麦。

1.3　数据测定及分析

冬小麦收获后在各小区随机选取 3 个 1 m^2 大小的具有代表性的样点,单独收割测产。另外随机选取 3 个 1 m 样段调查各处理小麦的有效穗数、穗粒数和千粒质量等指标;并用样段样品测定植株各部位养分含量,由此(各部位生物量及其含氮量)推算小麦各部位吸氮量。

采用植株总吸氮量、氮肥表观利用率、百公斤籽粒需氮量等指标表示氮素的利用效率。数据分析采用 DPS7.05 统计软件和 Excel,并用 *LSD* 法进行差异显著性多重比较($P < 0.05$)。

2　结果与分析

2.1　不同氮肥用量对小麦籽粒产量、生物量、收获指数的影响

从表 1 可以看出:秸秆还田、不施氮肥处理产量和生物量均为最低,分别是 3 269 $kg\cdot hm^{-2}$和 9 266 $kg\cdot hm^{-2}$。随施氮量增加,冬小麦籽粒产量及生物量增加,处理 N336(施氮 336 $kg\cdot hm^{-2}$)产量和生物量均为最高,分别为 7 353 $kg\cdot hm^{-2}$和 16 932 $kg\cdot hm^{-2}$(秸秆还田)及 6 727 $kg\cdot hm^{-2}$和 16 499 $kg\cdot hm^{-2}$(秸秆不还田),相同的氮肥施用水平下秸秆还田后冬小麦的产量在低施氮量(N84,N168)时有降低的趋势,在高施氮量时有增加的趋势。秸秆还田与否对冬小麦产量和生物量的影响差异不显著。这可能是由于短期的秸秆还田措施还不能体现出秸秆还田后对土壤理化性状的改善作用。不施氮处理小麦收获指数较小,施氮后增加至 40.6% 以上,但相同施氮量处理之间冬小麦的收获指数的差异不显著。秸秆还田条件下 N336 处理的氮肥配额达到的产量与 N252(252 $kg\cdot hm^{-2}$)处理所达到的产量间无显著的差异,考虑到生产成本及潜在的环境污染的可能性,在秸秆还田条件下配施 N252 处理的氮肥用量实际推广可行性较高。

对其产量和氮肥施用量之间的关系进行拟合,发现随着施氮量的增加冬小麦产量的增加量有逐降低的趋势(图 1)。拟合所得的曲线方程,单施氮肥:$y = -0.0404x^2 + 23.384x + 3533$($R^2 = 0.987$),当 $x = 289$ $kg\cdot hm^{-2}$,冬小麦最高产量 y 为 6 917 $kg\cdot hm^{-2}$;秸秆还田配施氮肥:$y = -0.0345x^2 + 23.179x + 3426.8$($R^2 = 0.9666$),当 $x = 336$ $kg\cdot hm^{-2}$时,冬小麦最高产量 y 为 7 320 $kg\cdot hm^{-2}$。说明在秸秆还田条件下施氮量高于 336 $kg\cdot hm^{-2}$时伴随着施氮量的进一步增加,冬小麦的产量出现负增长。考虑到投入产出以及潜在的对生态环境面源污染的可能性,当地秸秆还田条件下冬小麦的施氮量不宜高于 336 $kg\cdot hm^{-2}$。

表 1 不同处理对小麦籽粒产量、生物量、收获指数的影响

Table 1 Effect of different treatments on yield, biomass and harvesting index of wheat

处理 Treatments	籽粒产量/(kg·hm^{-2}) Grain yield			生物量/(kg·hm^{-2}) Biomass grain yield			收获指数/% Harvesting index		
	单施氮肥 N	秸秆还田配施氮肥 N+S	平均 Mean	单施氮肥 N	秸秆还田配施氮肥 N+S	平均 Mean	单施氮肥 N	秸秆还田配施氮肥 N+S	平均 Mean
N0	3636cA	3269dA	3453d	10876cA	9266cA	10071c	33.6cA	35.6bA	34.6c
N84	5004bA	5568cA	5286c	12983bB	13691bA	13337bc	38.5bcA	40.6abA	39.55b
N168	6327aA	5979bcA	6153b	14809abA	14329abA	14569ab	43abA	41.6abA	42.3ab
N252	7061aA	7127abA	7094a	15675abA	16250aA	15963ab	45.2aA	43.7aA	44.45a
N336	6727aA	7353aA	7040a	16499aA	16932aA	16716a	40.8abA	43.4aA	42.1ab
平均 Mean	5751A	5859A		14168A	14094A		40.22A	40.98A	

注:大写字母表示相同氮水平下秸秆还田与否对变量的影响的差异显著性;小写字母表示不同氮素水平对变量的影响的差异显著性,不同字母表示各处理之间差异达到 5%的显著性水平,下同。

Note: Different capital letters show significant difference within the same nitrogen application rate at $P<0.05$ according to LSR test, while different lower case letters show significant difference among different nitrogen application rates at $P<0.05$, similarly hereinafter.

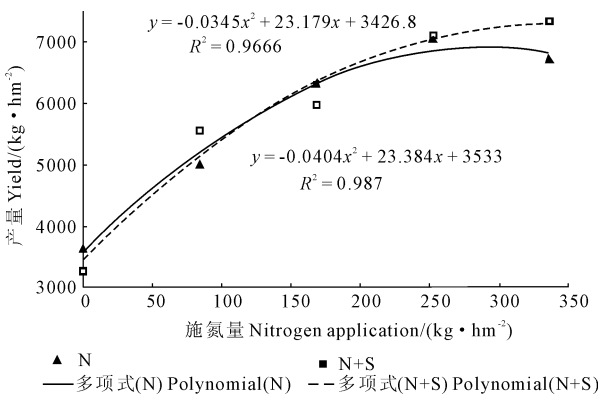

图 1 不同施氮量对冬小麦产量的影响

Fig.1 Relationship between yield of winter wheat and nitrogen application rate

2.2 不同处理对小麦公顷穗数、穗粒数、千粒重的影响

在不施氮的情况下,冬小麦产量三要素都比较低(表 2),施氮主要增加了冬小麦公顷穗数,说明施氮量的增加提高了冬小麦的公顷穗数,进而提高冬小麦的产量。将秸秆还田和秸秆不还田条件下对应施氮量处理进行对比表明,秸秆还田措施对冬小麦产量三要素的影响差异不显著,但秸秆还田条件下冬小麦的公顷穗数有降低的趋势。结合前面的产量数据,说明秸秆还田的条件下导致冬小麦产量出现降低的趋势是由于秸秆还田后冬小麦公顷穗数出现降低的趋势,秸秆还田措施可能对冬小麦的有效分蘖有影响。

表 2 不同处理对小麦公顷穗数、穗粒数、千粒重的影响

Table 2 Effect of different treatments on yield components of wheat

处理 Treatments	公顷穗数/(10^4·hm^{-2}) Ears			穗粒数 Grains per ear			千粒重/g 1000-grain weight		
	单施氮肥 N	秸秆还田配施氮肥 N+S	平均 Mean	单施氮肥 N	秸秆还田配施氮肥 N+S	平均 Mean	单施氮肥 N	秸秆还田配施氮肥 N+S	平均 Mean
N0	393cA	325cA	359d	30aA	28bA	29b	43.98cA	44.65aA	44.32cd
N84	433bcA	450bA	442c	35aA	34aA	34.5a	46.03abA	46.59aA	46.31ab
N168	461bcA	435bA	448c	34aA	34aA	34a	46.97aA	46.36aA	46.67a
N252	508abA	502abA	505b	34aA	35aA	34.5a	44.57bcA	45.74aA	45.16bc
N336	543aA	553aA	548a	34aA	33aA	33.5a	43.68cA	43.83aA	43.76d
Mean	468A	453A		33.4A	32.8A		45.05B	45.43A	

2.3 不同处理对小麦地上部分氮素吸收的影响

总体而言,伴随着施氮量的增加,冬小麦的茎叶、颖壳和籽粒中的氮素吸收量基本呈现逐渐增加的趋势(图 2)。在相同施氮水平下,秸秆不还田处理中小麦器官中氮素的吸收量相较于秸秆还田处理整体呈现出下降的趋势,但两者间的差异不显著。不同处理颖壳吸氮量基本无明显的差异;冬小麦籽粒和茎叶吸氮量则随着施氮量的增加呈现出增加的趋势。

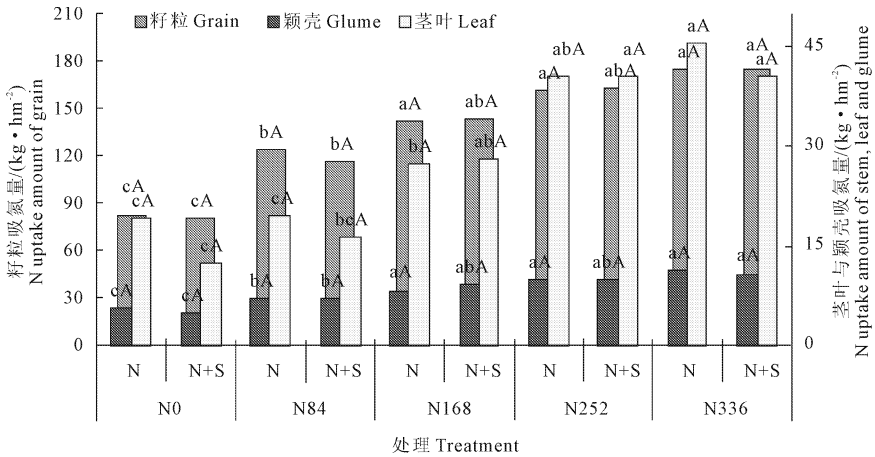

图 2　不同处理对冬小麦地上部分各器官吸氮量的影响

Fig.2　Nitrogen uptake amount in different organs of winter wheat under various treatments

当施氮量低于 168 kg·hm^{-2}时,冬小麦籽粒、茎叶和颖壳吸氮量随着施氮量的增加而显著增加,当施氮量高于 168 kg·hm^{-2}时冬小麦籽粒、茎叶和颖壳吸氮量随着施氮量的增加而变化差异不显著。当施氮量不低于 168 kg·hm^{-2}时,相较于单施氮肥处理,秸秆还田处理冬小麦籽粒吸氮量有提高的趋势,但差异不显著。

冬小麦不同器官中氮素吸收量占地上部分吸氮量的比例的变化如图 3 所示。随着施氮量的增加冬小麦籽粒吸氮量所占地上部分吸氮量的比例先升高后降低,茎叶吸氮量所占地上部分吸氮量的比例是逐渐升高,而颖壳吸氮量所占地上部分吸氮量的比例基本保持不变。说明随着施氮量的升高冬小麦所吸收的氮素没能有效地转移到籽粒当中,而是分配到了茎叶中。整体而言秸秆还田处理籽粒吸氮量所占地上部分吸氮总量的比例较不还田处理高。

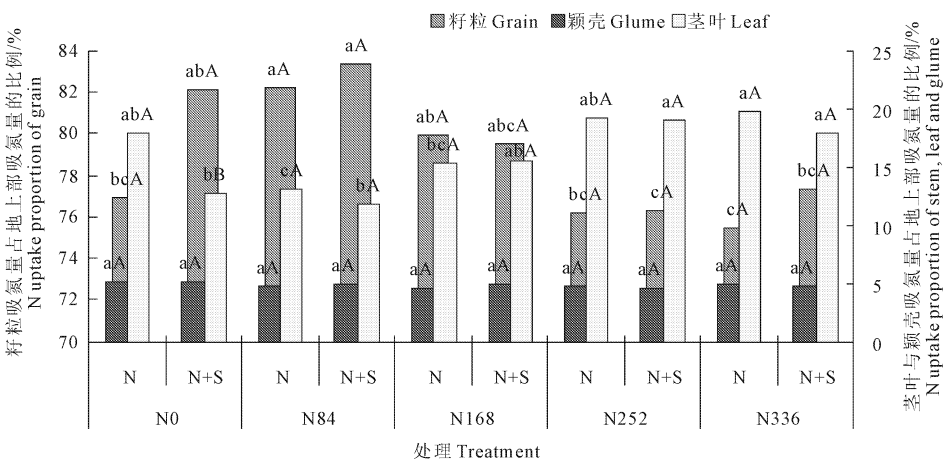

图 3　不同处理冬小麦各器官吸氮量所占地上部分总吸氮量的比例

Fig.3　N uptake proportion of various aerial organs of winter wheat under different treatments

2.4　不同处理对冬小麦氮肥利用效率的影响

小麦氮素利用效率变化趋势在秸秆还田和不还田的条件下基本一致,即随着施氮量的增加,冬小麦地上部分的吸氮量和百公斤籽粒需氮量显著增加,而氮肥表观利用率逐渐减小(表 3)。随着施氮量的增加,氮肥表观利用率降低,说明氮肥的利用程度随施氮量的增加而降低;表明冬小麦地上部分单位吸氮量所产生的籽粒产量随着氮肥施用量的增加而降低,氮肥的增产效果随着氮肥施用量的增加而减弱。

冬小麦的氮肥表观利用率呈现为秸秆还田处理高于秸秆不还田处理,提高了 1.6% ~ 9.1%(表 3)。表明在供试地区冬小麦在施氮量相同的情况下,相较于单施氮肥,氮肥配合秸秆还田有助于提高其氮素的利用效率,且在施氮量为 252 kg·hm^{-2}时冬小麦的氮素利用率提高幅度达到最大。当施氮量低于 168 kg·hm^{-2}时,相较于秸秆不还田处理,秸秆还田处理的冬小麦百公斤籽粒需氮量较高,当施氮量大于 168 kg·hm^{-2}时,相较于秸秆不还田处理,秸秆还

田处理的冬小麦百公斤籽粒需氮量较低。这是由于在秸秆还田后,低氮肥施用量时,由于秸秆腐解过程中微生物会和作物发生竞争氮素,而当施氮量达到一定水平时这种争氮现象会减弱,当秸秆腐解后,产生的有机物质使得土壤理化性状得到改善,从而对冬小麦的生长环境产生影响,进而影响了冬小麦对氮素的吸收。虽然,秸秆还田与否对冬小麦地上部的影响差异不显著,但随着施氮量的增加,秸秆还田处理地上部的吸氮总量由不施氮时低于不还田处理到施氮量为 168 kg·hm^{-2}时高于不还田处理,当施氮量增加至 336 kg·hm^{-2}时,秸秆还田处理地上部的吸氮总量又低于不还田处理(表 3),说明秸秆还田时配施适量的氮肥有助于冬小麦对氮素的吸收,氮肥配施量不宜低于 252 kg·hm^{-2}。适当的氮肥施用量下,秸秆还田促进了冬小麦地上部对氮素的吸收,使得冬小麦地上部分从施入的氮肥中能吸收更多的氮素,且使得单位吸氮量产生的籽粒产量得到提升,最终提高冬小麦对氮肥的利用效率。

表 3 不同处理对小麦氮素利用效率的影响

Table 3 Effect of different treatments on nitrogen use efficiency of wheat

处理 Treatments	地上部总吸氮量/(kg·hm^{-2}) Total N uptake in aerial parts			百公斤籽粒需氮量/(kg·kg^{-1}) N-requirement per 100 kg grain			氮肥表观利用率/% Nitrogen fertilizer use efficiency 100 kg grain		
	N	N+S	平均 Mean	N	N+S	平均 Mean	N	N+S	平均 Mean
N0	107dA	97dA	102d	1.79 cA	1.80cA	1.80d	—	—	
N84	148cA	139bcA	144c	2.21bA	2.25bA	2.23c	48.6aA	50.2aA	49.4a
N168	177abcA	180abcA	179b	2.58aA	2.46aB	2.52a	41.6abA	49.3abA	45.5ab
N252	201aA	213abA	207ab	2.43aA	2.33abA	2.38b	37.2bA	46.3bA	41.8b
N336	231aA	226aA	229a	2.45aA	2.49aA	2.49ab	36.8bA	38.5bA	37.7b
mean	173A	171A		2.29A	2.28A		41.1A	46.1A	

3 结论与讨论

3.1 秸秆还田措施配施氮肥对冬小麦产量的影响

本试验中秸秆还田配施氮量较低时有降低冬小麦产量的趋势,在配施氮量较高时有增加冬小麦产量的趋势,但差异不显著。小麦的产量取决于单位面积有效穗数、穗粒数和千粒重这三个因素。经分析,在秸秆还田低配氮量下冬小麦产量产生降低趋势的原因是秸秆还田后冬小麦公顷穗数出现降低的趋势,秸秆还田措施可能对冬小麦的有效分蘖有影响。有报道提出秸秆还田导致小麦产量降低。有研究发现秸秆还田过程中耕作措施不当会造成播种质量差,影响出苗,导致小麦出苗率降低,进而影响小麦产量的提高[10]。另外还有研究指出秸秆还田导致小麦减产的原因是秸秆的碳氮比过高所致[11],作物秸秆分解时土壤适宜的 C/N 为 25,而秸秆本身 C/N 一般较宽,为 80 左右,因此还田后的秸秆不能很快分解[12],导致小麦减产。在秸秆还田配施高氮量时冬小麦产量呈现升高趋势可能是由于秸秆还田配施适量氮肥可以有效改善土壤的理化性状,调节土壤的水、肥、气、热状况,使得小麦的公顷穗数、穗粒数、千粒重都明显提高[13]。另外,秸秆还田结合施用适量速效氮肥,使得作物表现为:前期早发稳长,中后期青秀老健,防止早衰[14],能显著增加小麦的产量[15-16]。

3.2 秸秆还田措施配施氮肥对冬小麦氮素吸收利用的影响

本试验中秸秆还田措施配合适量的氮肥用量降低了冬小麦百公斤籽粒吸氮量。秸秆还田措施配施氮肥处理的氮素效率相较于单施氮肥处理都有提高,这与赵鹏等的试验结果相一致[16]。查阅大量文献,秸秆还田配施氮肥提高冬小麦氮素吸收原因是:

(1) 秸秆还田措施配施氮肥改善了耕地土壤特性,调节农田小气候,促进冬小麦的生长和根系对氮素的吸收。研究表明秸秆还田措施会对农田土壤的温度产生影响,冬季促进冬小麦根系的生长及对土壤养分的吸收,有利于过冬[17];而且秸秆还田有利于减少降雨或人力等外界因素所导致的土壤表层密闭和结皮的现象[18],调节饱和导水率和不饱和导水率[19],减小土壤透水性、透气性[20],降低水土和养分流失的几率和流失量,有利于作物生长和生产[21]。另有报道指出,土壤团聚体的稳定性随秸秆还田量的减少而减少,并且对土壤紧实度有一定的影响[22]。秸秆还田还能提高土壤有机质含量[23]。土壤特性的改善提高了土壤供氮能力和供氮潜力,为提高冬小麦氮素吸收打好坚实的基础。

(2) 秸秆还田措施配施氮肥促进了土壤中养分的活性,有利于冬小麦对氮素的吸收利用。本试验中秸秆还田配施氮肥处理有提高冬小麦的氮素利用率的趋势,与秸秆不还田处理相比,秸秆还田处理不

同程度地增加了冬小麦的氮素利用效率,这与霍竹等[24]的试验结果相一致。早在上世纪八十年代就有人研究发现有机养分循环配合化肥施用可以提高土壤氮库的累积及活性成分,改善土壤的供氮能力[25],C/N 高的有机物可以激发土壤氮素的矿化,秸秆还田能够增加土壤碱解氮含量,秸秆还田配施无机氮肥可以提高土壤氮素供应能力[26-27]。汪军等研究表明秸秆还田措施只有在合理配施氮肥时才能够明显提高土壤氮素供应能力[28],本试验相同施氮量处理,相较于秸秆不还田处理秸秆还田配施 252 $kg \cdot hm^{-2}$氮肥处理时冬小麦的氮素利用率提高幅度最大。

(3) 秸秆还田措施配施氮肥起到了减少氮素损失的作用。秸秆还田措施降低和减缓土壤中氮素的硝化作用[29],秸秆还田措施合理配施氮肥,可以降低农田氮素养分流失[30],在适量的施氮水平下,玉米秸秆还田降低了土壤反硝化及 N_2O 的排放[31]。

此外,有研究表明秸秆还田配施氮肥能提高小麦叶片中的硝酸还原酶活性,而硝酸还原酶活性与作物吸氮量呈显著相关。秸秆还田配施氮肥后经过微生物对秸秆的分解后产生的有机物促进了小麦叶片中的硝酸还原酶,进而提高了小麦对氮肥的利用能力[32]。

综合考虑冬小麦产量、氮素吸收利用、农业生产成本及环境因素,同类型地区秸秆还田条件下,冬小麦施氮量以 252 ~ 321 $kg \cdot hm^{-2}$为佳。

参 考 文 献:

[1] 季陆鹰,葛　胜,郭　静,等.作物秸秆还田的存在问题及对策[J].江苏农业科学,2012,(6):342-344.

[2] 田霄鸿,南雄雄,Abro Shaukat Ali,等.对发展关中平原循环农业的认识与实践[J].科技成果管理与研究,2009,(5):22-26.

[3] Kumar K, Goh K M. Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield and nitrogen recovery[J]. Adv. Agron, 2000,(68):197-319.

[4] Hulugalle N, Lal R, Terkuile C H H. Amelioration of soil physical properties by mucuna after mechanized land cleaning of a tropical rain forest[J]. Soil Sci., 1986,(141):219-224.

[5] Wade W K, Sanchez P A. Mulching effect of green manure application for continuous crop production in the Amazon basin[J]. Agron. J, 1983,(75):39-45.

[6] Asghar H N, Ishaq M, Zahir Z A, et al. Response of radish to integrated use of nitrogen fertilizer and recycled organic waste[J]. Pak. J. Bot, 2006,38(3):691-700.

[7] Tian G, Kang B T, Brunard L. Biological effect of plant residues with contrasting chemical composition under humid tropical conditions, decomposition and nutrient release[J]. Soil Biol. Biochem, 1993,(24):1051-1060.

[8] Kumar K, Goh K M, Scott W R, et al. Effects of 15N-labeled crop residues and management practices on subsequent winter wheat yields, nitrogen benefits and recovery under field conditions[J]. Agric. Sci, 2001,(136):35-53.

[9] 杨美英,刘　建,魏亚凤,等.麦秸全量还田下水稻氮素运筹对稻米蛋白质及淀粉粘滞性的影响[J].江西农业学报,2010,(12):4-7.

[10] 沈海军,祝飞华,顾炽明,等.关中灌区秸秆还田条件下施氮量对冬小麦产量及氮素利用的影响[J].西北农业学报,2012,(8):72-76.

[11] 赵　鹏,陈　阜.秸秆还田配施化学氮肥对冬小麦氮效率和产量的影响[J].作物学报,2008,34(6):1014-1018.

[12] 陈在新,胡志仿,陈　岚.秸秆还田与小麦播种方式对免耕稻茬麦产量的影响[J].现代农业科技,2008,(12):167-168.

[13] 胡海生.秸秆还田的作用与方法[J].现代农业科技,2008,(6):159-159.

[14] 李少昆,王克如,冯聚凯,等.玉米秸秆还田与不同耕作方式下影响小麦出苗的因素[J].作物学报,2006,32(3):463-465.

[15] 娄运生,徐本生,杨建堂,等.玉米秸配施氮磷肥对其腐解及潮土供氮磷特性的影响[J].土壤肥料,1998,(2):29-30.

[16] 江永红,宇振荣,马永良.秸秆还田对农业生态系统及作物生长的影响[J].土壤通报,2001,32(5):209-213.

[17] Blanco-Canqui H, Lal R, Post W M, et al. Changes in long-term no-till corn growth and yield under different rates of stover mulch[J]. Agron. J, 2006,(98):1128-1136.

[18] Ruan H X, Ahuja L R, Green T R, et al. Residue cover and surface-sealing effects on infiltration: numerical simulations for field applications[J]. Soil Sci. Soc. Am. J, 2001,(65):853-861.

[19] Cassel D K, Raczkowski C W, Denton H P. Tillage effects on corn production and soil physical conditions[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1995,(59):1436-1443.

[20] Kladivko E J. Residue effects on soil physical properties. Managing Agricultural Residues [C]//Unger P W. Boca Raton FL: CRC Press, 1994:123-141.

[21] Blanco-Canqui H, Lal R, Post W M, et al. Soil structural parameters and organic carbon in no-till corn with variable stover retention rates[J]. Soil Sci, 2006,(171):468-482.

[22] Karlen D L, Wollenhaupt N C, Erbach D C, et al. Crop residue effects on soil quality following 10 years of no-till corn[J]. Soil Tillage Res, 1994,(31):149-167.

[23] 蒋云芳,蒋新和,周　玲.秸秆还田与氮肥配施技术探讨[J].江苏农业科学,1998,(4):43-45.

[24] 霍　竹,付晋锋,王　璞.秸秆还田和氮肥施用对夏玉米氮肥利用率的影响[J].土壤,2005,(2):202-204.

[25] white CS, Moore DI, Horner JD, et al. Nitrogen Mineralization-immobilization response to field N or C perturbations: An evaluation of a theoretical model[J]. Soil Biology and Biochem, 1988,(20):101-105.

[26] 李贵桐,赵紫娟,黄元仿,等.秸秆还田对氮素转化的影响[J].植物营养与肥料学报,2002,8(2):162-167.

[27] 张亚丽,张　娟,沈其荣,等.秸秆生物有机肥的施用对土壤供氮能力的影响[J].应用生态学报,2002,13(12):1575-1578.

(下转第 73 页)

从不同层位叶向值来看,4 个春玉米品种总体表现为棒三叶上 > 棒三叶下 > 棒三叶,其中内单 314 棒三叶上以及棒三叶分别达到 70.03 和 50.49,在供试的 4 个春玉米品种均最大,其差值为 19.54,也明显高于其他品种,高密种植条件下,内单 314 保持较大的叶面积,上部叶片上冲性好,下部叶片相对平展,有利于提高光能的截获量和群体的分层受光,受光态势好。

4 个春玉米品种的光合势均表现为吐丝至乳熟期最大,拔节到吐丝期最小;其中内单 314 吐丝至乳熟期、乳熟到成熟期均最大,拔节到吐丝期仅次于金山 116,总体表现最好。从各玉米品种的净光合速率来看,除 08:00 外,其他各时段均以内单 314 最高。平均瞬时光能利用率内单 314 也明显高于其他品种。

从产量表现来看,4 个春玉米品种以内单 314 最高达到了 16.14 $t\cdot hm^{-2}$,分别较宁玉 309、金山 116 和金山 20 高出 4.47%、7.60% 和 29.85%。较好的受光态势、较强的光合能力是内单 314 产量高于其他品种的原因所在。

4　讨　论

增加种植密度是进一步提高玉米单产水平的有效途径[13]。密度的增加势必给群体结构带来影响[3]。合理的群体结构,也就决定了合理的光分布,从而使玉米光能利用率达到最高,光合作用水平达到最佳状态[12]。李登海认为,紧凑型玉米在适当高的密度下,穗位上叶夹角较小(10° ~ 15°)、叶面积指数较高(最大 LAI 为 5.5 ~ 6.0,成熟期仍达到 3.5 左右)、光合势较长,是产量在 13.5 ~ 15.0 $t\cdot hm^{-2}$夏玉米的育种目标[4]。吕丽华等研究了不同种植密度下的夏玉米冠层结构及光合特性后指出,在适当高的密度下(小株小穗型品种为 9.75 ~ 11.25 万株·hm^{-2},中株中穗型品种为 8.25 ~ 9.75 万株·hm^{-2},大株大穗型品种为 6.75 ~ 8.25 万株·hm^{-2}),穗位层透光率较高,叶面积指数发展动态合理(前快、中稳、后衰慢,吐丝期达到 5.59 ~ 6.75,成熟期仍然保持在 2.24 ~ 3.68),中上层叶片净光合速率较高(33.6 ~ 43.8 $\mu mol\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$),群体光合势高值持续时间较长(小株小穗型品种吐丝后光合势达到 172.0 $m^2\cdot d\cdot m^{-2}$,中株中穗型和大株大穗型品种达到 232.8 ~ 235.9 $m^2\cdot d\cdot m^{-2}$),是高效冠层的特征[9]。本试验结果表明,在密度 9.26 万株·hm^{-2}种植条件下,内单 314 产量达到 16.14 $t\cdot hm^{-2}$,其叶面积指数达 6.927,穗位叶日最大净光合速率 30.5 $\mu mol\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$,吐丝后光合势达 364.90 $m^2\cdot d\cdot m^{-2}$。高产目标的实现与其合理的冠层结构和受光态势,较强的光和能力具有直接关系,此结论与李登海、吕丽华等的研究结论基本一致,数值上的差异主要是试验采用的品种及试验地区环境条件不同所致。另外本研究采用的是高密度、宽窄行的种植方式,宽窄行种植在一定程度上改善了群体的通风和透光条件,这也是宁玉 309、金山 116 两个玉米品种取得较高产量的主要原因。

参 考 文 献:

[1] 顾晓鹤,韩立建,王纪华,等.中低分辨率小波融合的玉米种植面积遥感估算[J].农业工程学报,2012,28(3):203-209.

[2] 陈得义,葛　超,赵成昊,等.不同品种春玉米光合生理特性密度效应研究[J].农业科技通讯,2012,(1):35-38.

[3] 张玉芹,杨恒山,毕文波,等.不同栽培模式下春玉米生育后期冠层生理特性研究[J].华北农学报,2012,27(1):145-150.

[4] 章家恩.作物群体结构的生态环境效应及其优化探讨[J].生态科学,2000,19(1):31-35.

[5] 薛吉全,梁宗锁,马国胜,等.玉米不同株型耐密性的群体生理指标研究[J].应用生态学报,2002,13(1):55-59.

[6] 李登海,毛丽华,姜伟娟,等.紧凑型杂交玉米高产性能的发现与探索[J].莱阳农学院学报,2001,18(4): 259-262.

[7] 鲍巨松,薛吉全,杨成书,等.不同株型玉米叶面积系数和群体受光态势与产量的关系[J].玉米科学,1993,3(1):50-54.

[8] 丁希武,许晓明,郑玉龙,等.不同生态类型玉米光分布规律的研究[J].黑龙江农业科学,1998,(1):5-9.

[9] 吕丽华,陶洪斌,夏来坤,等.不同种植密度下的夏玉米冠层结构及光合特性[J].作物学报,2008,34(3):447-455.

[10] 李　明,李文雄.肥料和密度对寒地高产玉米源库性状及产量的调节作用[J].中国农业科学,2004,37(8):1130-1137.

[11] 吕丽华,赵　明,赵久然,等.不同施氮量下夏玉米冠层结构及光合特性的变化[J].中国农业科学,2008,41(9):2624-2632.

[12] 郭　江,肖　凯,郭新宇.玉米冠层结构、光分布和光合作用研究综述[J].玉米科学,2005,13(2):55-59.

[13] 李登海.从事紧凑型玉米育种的回顾与展望[J].作物杂志,2000,(5):1-5.

(上接第 53 页)

[28] 汪　军,王德建,张　刚,等.连续全量秸秆还田与氮肥用量对农田土壤养分的影响[J].水土保持学报,2010,(5):40-62.

[29] 徐新宇,张玉梅,向　华.应用^{15}N示踪研究秸秆对保存和提高氮肥肥效的影响[J].中国核科技报告,1991,(S3):588-598.

[30] 汪　军,王德建,张　刚.秸秆还田下氮肥用量对稻田养分淋洗的影响[J].中国生态农业学报,2010,18(2):316-321.

[31] 王改玲,郝明德,陈德立.秸秆还田对灌溉玉米田土壤反硝化及 N_2O 排放的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(6):840-844.

[32] 介晓磊,杨先明,刘世亮,等.潮土长期定位施肥对小麦生理特性、产量及面粉品种的影响[J].华北农学报,2011,26(3):157-163.