植物营养与肥料学报 2015,21(2):306-317 doi: 10.11674/zwyf.2015.0204
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer http://www.plantnutrifert.org

施氮量、土壤和植株氮浓度与小麦赤霉病的关系

刘小宁, 刘海坤, 黄玉芳, 叶优良*
(河南农业大学资源与环境学院,郑州 450002)

摘要:【目的】赤霉病已成为影响小麦产量和品质的重要病害之一,为了解施用氮肥对小麦赤霉病的影响,本文通过研究不同施氮水平下小麦赤霉病的发病情况,探索施氮、土壤供氮、植株氮浓度与小麦赤霉病的关系。**【方法】**采用田间小区试验,以多穗型豫麦 49-198(YM49-198)和大穗型周麦 16(ZM16)为供试品种,设 N 0、120、180、240、360 kg/hm^{2}5 个施氮水平(N_0、N_{120}、N_{180}、N_{240}、N_{360}),根据"小麦赤霉病测报技术规范"调查小麦赤霉病的发病情况。**【结果】**土壤硝态氮含量及 0—90 cm 土层土壤硝态氮累积量均随施氮量的增加而增加,小麦收获期 N_0、N_{120}、N_{180}处理 0—30 cm 土层硝态氮含量及 0—90 cm 累积量差异不显著,但显著低于 N_{240}和 N_{360}处理。两个品种小麦赤霉病病穗率和病情指数(DI)随施氮量的增加而增加,各处理间差异显著;豫麦 49-198 施氮处理的病穗率和 DI 比不施氮处理分别增加 29.5%～132.0% 和 35.9%～225.2%,周麦 16 施氮处理的病穗率和 DI 比不施氮处理分别增加 42.4%～161.8% 和 41.7%～206.9%;两个品种小麦 N_{180}处理赤霉病的病穗率和病情指数与 N_0、N_{120}差异较小,显著低于 N_{240}和 N_{360};周麦 16 较豫麦 49-198 发病严重,各处理的病穗率和病情指数比豫麦 49-198 分别高出 7%～25% 和 28.0%～63.6%。小麦赤霉病病穗率和 DI 与硝态氮含量显著正相关,与 0—90 cm 硝态氮累积量呈线性正相关。孕穗期、开花期和灌浆期茎基部硝酸盐含量和拔节期～开花期植株的全氮含量各处理间差异较大,且与小麦赤霉病病穗率和 DI 显著线性正相关。**【结论】**土壤硝态氮含量及累积量随施氮量增加而增加,小麦收获后施氮量低于 N 180 kg/hm^2 时土壤中硝态氮残留较低,赤霉病发病较轻。小麦赤霉病病穗率和病情指数随施氮量的增加而增加,说明施氮量过高会加重小麦赤霉病病害;小麦拔节期～开花期的氮浓度过高会加重赤霉病病害,因此在这一时期,适宜的施氮量、土壤硝态氮和植株氮浓度在赤霉病发生年份可以减轻病害,综合考虑土壤硝态氮残留、产量和赤霉病害等因素的适宜施氮量为 N 180 kg/hm^2。

关键词: 小麦; 赤霉病; 植株氮浓度; 土壤硝态氮; 施氮量
中图分类号: S435.121.4$^+$5; S512.1.062 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2015)02-0306-12

Relationships between nitrogen application rate soil nitrate-nitrogen, plant nitrogen concentration and wheat scab

LIU Xiao-ning, LIU Hai-kun, HUANG Yu-fang, YE You-liang*
(*College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China*)

Abstract:【Objectives】 Scab has become one of the major diseases affecting yield and quality of wheat. An experiment was set up to study effect of nitrogen fertilization on wheat scab and to explore relations between nitrogen fertilizer and soil nitrogen, plant nitrogen concentration and wheat scab under different nitrogen levels. **【Methods】** A field experiment was conducted using 5 nitrogen rates (N 0, 120, 180, 240 and 360 kg/ha) and a multi-spike wheat cultivar YuMai49-198 (YM49-198) and a large spike wheat cultivar ZhouMai16 (ZM16) in randomized blocked, and wheat scab was investigated by "wheat scab forecasting technical specifications". **【Results】** The soil nitrate nitrogen contents and accumulation amounts in 0-90 cm soil layer are increased with the increase of N application rate. There are no significant differences in soil nitrate nitrogen contents at 0-30 cm and the accumulation amounts in 0-90 cm soil layer under N_0, N_{120} and N_{180}, and the contents and amounts are

收稿日期: 2014-03-04 **接受日期:** 2014-06-23
基金项目: 农业部公益性行业专项(201103003);国家自然科学基金项目(31471935);国家"973"项目(2009CB11866)资助。
作者简介: 刘小宁(1987—),女,河南安阳人,硕士研究生,主要从事氮素养分资源综合管理研究。E-mail: LXN409@126.com
* 通信作者 E-mail: ylye2004@163.com

significantly lower than those under N_{240} and N_{360} at the maturity. The morbidities and disease index (DI) of wheat scab are increased with the increase of N application rate, and there are significantly differences among different treatments. The morbidities and DIs of YM49-198 under the N treatments are higher than those under the N_0 treatment by 29.5%-132.0% and 35.9%-225.2%, respectively, and those of ZM16 are 42.4%-161.8% and 41.7%-206.9%. The morbidities and DIs of the two wheat cultivars under N_0, N_{120} and N_{180} are not significant different, and are significantly lower than those under N_{240} and N_{360}. However, the disease of ZM16 is more serious since the morbidities and DIs are higher than those of YM49-198 by 7%-25% and 28.0%-63.6%, respectively. The scab morbidity and DI are positively correlated with soil nitrate content, and linearly correlated with nitrate-nitrogen accumulation in 0-90 cm. The stem sap nitrate concentrations at the booting, anthesis and filling stages, the total nitrogen contents at the jointing and anthesis stages have significant differences among the treatments, and are significantly and positively linear correlated with the scab morbidity and DI. 【**Conclusions**】The soil nitrate nitrogen contents and accumulation amounts are increased with the increase of the N application rate. The soil residual nitrate is lower under conditions of nitrogen rate less than 180 kg/ha, and thus, the scab disease is lighter. The morbidity and DI of wheat scab are increased with the N application rate, which illustrates that higher nitrogen fertilizer will aggravate wheat scab disease at the jointing and anthesis stages. Therefore, to reducing the scab disease, appropriate nitrogen rate, soil nitrate and plant nitrogen concentration are needed during this period. Considering the residual nitrate in soil, the yield and scab, the appropriate nitrogen amount is N 180 kg/ha.

Key words: winter wheat; wheat scab; plant nitrogen concentration; soil nitrate-nitrogen; nitrogen rate

小麦遭到赤霉病病菌侵染后穗部出现红色霉状物[1],故称赤霉病,是由多种镰刀菌引起的真菌病害[2-3],其在高温、高湿条件下发病严重,尤其在小麦抽穗扬花期的气象条件对小麦赤霉病的发生有重要影响,为典型气候型病害[1,4]。前人对小麦赤霉病发生的原因、特点及防治措施做了大量研究[5-9]。近年来,有关施用氮肥对小麦赤霉病影响的研究逐渐增多[10-11],乔玉强等指出施氮增加了小麦赤霉病病穗率和病情指数[11],高量施氮条件下赤霉病发病程度和籽粒毒素含量维持在较高水平[12];Jensen 和 Munk 的研究表明,氮肥用量的增加使菌落密度增大[13],低氮条件下菌落形成会减少,病菌侵染能力降低[14]。

施氮增加了土壤中硝态氮的累积和植株的氮浓度[15],硝态氮反映了土壤供氮能力[16],其含量制约着小麦氮素的吸收[17]。植株全氮和茎基部硝酸盐可以作为植株氮素营养诊断的指标,反映小麦植株氮素营养状况[18],茎基部硝酸盐比全氮能更直接快速地反映小麦植株的氮素营养状况[19]。Delin 等指出发病率低的小麦植株含氮量增加,土壤硝态氮累积量减少。发病率降低后增加了小麦对氮素的吸收,减少了收获后土壤硝态氮的残留[20]。但有关土壤硝态氮和小麦植株氮素营养对小麦病害影响的研究相对较少。2012 年 4 月下旬和 5 月上旬小麦正值抽穗扬花期,遇到了连续高温阴雨天气,为赤霉病传播创造了气候条件,导致赤霉病在全国普遍发生,河南省的发病尤其严重[21],发病面积约为 57.8%,平均病穗率 10% 左右[22]。为了深入了解施氮量对土壤硝态氮、植株氮浓度和赤霉病的影响及土壤硝态氮、氮浓度与赤霉病的关系,对不同施氮量下两个品种小麦赤霉病的发病情况进行了调查和分析,旨在为小麦生产中病害的防治提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验于 2011 ～2012 年在河南禹州市顺店镇康城村进行,位于北纬 34°27′,东经 113°34′。土壤类型为潮土,质地为粘壤土,耕层土壤有机质含量 20.5 g/kg、全氮 1.04 g/kg、有效磷 20 mg/kg、速效钾为 142 mg/kg, pH 值 8.2;0—30 cm 土层 Nmin 含量 58 kg/hm^2,土壤容重 1.45 g/cm^3。前茬作物为玉米。

1.2　试验设计

供试品种为当地主栽品种多穗型豫麦 49-198 (YM49-198)和大穗型周麦 16(ZM16)。试验设 N 0、120、180、240、360 kg/hm^2 5 个施氮水平,分别用 N_0、N_{120}、N_{180}、N_{240}、N_{360} 表示。氮肥为尿素(含氮 46%),1/2 氮肥在小麦播前作基肥施入,1/2 在小麦拔节期追施。磷、钾肥全部基施,磷肥为过磷酸钙(含 P_2O_5 12%),用量为 90 kg/hm^2,钾肥为氯化钾(含 K_2O 60%),用量为 90 kg/hm^2。小区面积 48

m^2,重复3次,随机区组排列。豫麦49-198的播量为150 kg/hm^2,周麦16播量为195 kg/hm^2,2011年10月17日播种,2012年6月5日收获。田间管理按照当地高产模式进行管理。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤硝态氮 在小麦越冬、返青、拔节、开花和成熟期每个小区分别采取一组0—30 cm、30—60 cm和60—90 cm土层土壤,鲜样经0.01 mol/L $CaCl_2$浸提,流动分析仪测定土壤硝态氮含量。同时另取一份土壤烘干后测定土壤含水量。

1.3.2 植株全氮 在小麦越冬、返青、拔节、开花、收获期每个小区随机采取20株小麦植株样品,105°C杀青,75°C烘干后粉碎,半微量凯氏定氮法测定小麦整株的植株全氮含量。

1.3.3 植株硝酸盐 在小麦孕穗期、开花期、灌浆期以小麦茎基部(0.5～1 cm)为测定部位,用榨汁器榨取小麦茎基部汁液,根据NO_3^--N偶氮反应原理生成红色染料,通过比色法由反射仪(RQ-flex)直接读出小麦茎基部硝酸盐浓度[23]。

1.3.4 病情指数计算 在赤霉病发病期调查小麦病穗率,计算病情指数。每个小区选取具有代表性的3个点,每个点选100个小麦单茎进行调查,计算病穗率(病穗率=发病穗数/总穗数×100%)和病情指数[DI,病情指数=100×∑(各级病穗数×各级代表值)/(调查总穗数×最高级代表值)],根据穗部发病情况对小麦赤霉病病情指数分为五个等级:0级为不发病;1级的病小穗数占全小穗数的1/4以下;2级的病小穗数占全小穗数的1/4～1/2;3级的病小穗数占全小穗数的1/2～3/4以下;4级的病小穗数占全小穗数的3/4以上[24]。

1.4 数据处理

试验数据采用Excel 2010和SPSS 20.0进行处理,用Duncan法进行处理间多重比较,各变量之间使用Pearson相关系数法进行相关分析[25];采用OriginPro 8.1绘图。

2 结果与分析

2.1 施氮对小麦土壤硝态氮的影响

2.1.1 对土壤硝态氮含量的影响 从表1可以看出,小麦各土层硝态氮含量随施氮量的增加而增加。越冬期30—60 cm、60—90 cm土层硝态氮含量高于0—30 cm,其他时期0—30 cm硝态氮含量明显高于30—60 cm和60—90 cm。在拔节期,两个品种N_0、N_{120}、N_{180}、N_{240}处理的硝态氮含量在0—30 cm土层差异不显著;开花期和收获期两个小麦品种0—30 cm土层的硝态氮含量N_0、N_{120}、N_{180}处理最低且无显著差异,N_{240}、N_{360}处理的差异不显著但显著高于其他处理。

2.1.2 对土壤硝态氮累积量的影响 小麦不同生育期0—90 cm土层土壤硝态氮累积量随施氮量的增加而增加,不同施氮水平间差异显著(表2)。拔节期0—90 cm土层硝态氮累积量最低。开花期和收获期两个品种N_0、N_{120}、N_{180}处理0—90 cm土层硝态氮累积量最低,且三者之间差异不显著,但显著低于N_{360}处理。

2.2 施氮对小麦植株氮浓度的影响

2.2.1 对小麦植株硝酸盐含量的影响 由表3可以看出,两个小麦品种抽穗期、开花期和灌浆期的茎基部硝酸盐含量随施氮量增加而增加,处理间差异显著,豫麦49-198开花期各处理茎基部硝酸盐含量最大,为683～4245 mg/L,N_{120}、N_{180}、N_{240}、N_{360}处理分别比N_0增加1.4、2.9、3.8、5.2倍;周麦16在灌浆期茎基部硝酸盐含量达到最大,不同处理在863～4047 mg/L范围,N_{120}、N_{180}、N_{240}、N_{360}处理分别比N_0增加了3.3、3.5、3.6、3.7倍,N_{180}、N_{240}、N_{360}处理间差异不显著。

2.2.2 对小麦植株全氮含量的影响 图1显示,小麦植株全氮含量随施氮量的增加而增加,施氮处理显著高于不施氮处理。两个小麦品种植株全氮含量均在返青期最高,收获期最低,变幅在1.1%～3.0%之间,以拔节期和开花期各处理间的差异最大,越冬期和返青期各处理间差异不显著;收获期豫麦49-198的施氮处理间差异不显著,周麦16各个处理仍有显著差异。拔节期,豫麦49-198植株全氮含量变化在2.1%～3.2%之间,N_{120}、N_{180}、N_{240}、N_{360}处理比N_0分别增加10.5%、20.8%、22.3%、50.2%,N_{180}和N_{240}间差异不显著;周麦16植株的全氮含量变化在2.4%～2.9%之间,N_{120}、N_{180}、N_{240}、N_{360}处理比N_0分别增加6.3%、7.8%、21.2%、23.2%,N_{180}与其他各处理间也差异显著。开花期,豫麦49-198植株的全氮含量变化在1.6%～2.3%之间,N_{120}、N_{180}、N_{240}、N_{360}处理分别比N_0增加了12.6%、31.4%、30.4%、42.2%;周麦16植株全氮含量变幅为1.9%～2.9%,N_{120}、N_{180}、N_{240}、N_{360}处理分别比N_0增加12.1%、21.8%、23.5%、55.7%。收获期,豫麦49-198植株全氮含量变化在0.8%～1.2%之间,施氮处理显著高于不施氮处理,各施氮

表 1　施氮对不同小麦品种各土层土壤硝态氮含量的影响(mg/kg)

Table 1　Effects of the nitrogen application on 0-90 cm soil nitrate nitrogen contents

生育期 Growth stage	处理 Treatment	豫麦 49-198 YM49-198			周麦 16 ZM16		
		0—30 cm	30—60 cm	60—90 cm	0—30 cm	30—60 cm	60—90 cm
越冬期 Wintering	N_0	4.7 c	3.5 d	6.8 c	3.8 c	4.4 d	5.1 c
	N_{120}	5.1 c	8.5 c	8.3 c	5.8 c	8.0 c	9.7 b
	N_{180}	9.7 b	10.7 c	11.8 b	9.0 b	12.8 b	10.6 b
	N_{240}	9.5 b	19.1 b	15.0 a	9.3 b	15.7 ab	15.5 a
	N_{360}	11.1 a	25.7 a	15.4 a	12.6 a	18.5 a	16.8 a
返青期 Regreening	N_0	10.0 b	5.7 b	4.4 c	8.6 b	6.5 b	6.2 c
	N_{120}	10.4 b	5.5 b	5.1 c	10.5 a	8.5 ab	7.8 bc
	N_{180}	10.4 b	5.6 b	5.1 c	10.8 a	10.1 a	7.5 bc
	N_{240}	13.5 a	8.9 a	6.4 b	11.7 a	9.8 a	9.0 b
	N_{360}	12.9 a	10.5 a	8.3 a	12.2 a	11.3 a	16.4 a
拔节期 Jointing	N_0	10.1 a	5.1 b	2.5 c	6.3 b	4.1 b	3.5 b
	N_{120}	9.7 a	5.2 b	3.6 b	9.3 ab	4.4 b	4.1 b
	N_{180}	10.3 a	6.6 a	4.6 a	8.7 ab	4.5 b	2.7 b
	N_{240}	9.7 a	6.3 a	4.2 ab	9.5 ab	5.0 b	3.7 b
	N_{360}	11.5 a	6.6 a	4.7 a	11.3 a	8.1 a	10.4 a
开花期 Anthesis	N_0	9.4 b	4.5 b	3.3 c	8.5 b	5.5 bc	3.8 b
	N_{120}	12.0 b	6.2 ab	4.8 b	10.0 b	4.8 c	5.1 ab
	N_{180}	15.0 b	6.5 ab	4.0 bc	13.3 b	7.2 ab	6.2 a
	N_{240}	25.5 a	6.8 ab	5.0 b	28.2 a	6.7 abc	5.5 a
	N_{360}	27.7 a	9.0 a	7.0 a	31.2 a	8.3 a	5.8 a
收获期 Maturity	N_0	6.8 c	1.5 c	1.3 b	9.4 b	2.8 c	1.4 b
	N_{120}	7.9 c	3.8 b	1.6 b	10.1 b	2.9 c	2.2 b
	N_{180}	10.0 c	3.9 b	1.9 b	10.9 b	4.9 b	2.2 b
	N_{240}	32.6 b	5.1 b	3.0 b	16.6 b	6.6 a	3.5 b
	N_{360}	40.4 a	6.8 a	6.3 a	35.6 a	7.0 a	9.6 a

注(Note): 同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant different among treatments at the 5% level.

处理间无显著差异;周麦 16 的植株全氮含量变幅为 0.8%～1.6%,N_{120}、N_{180}、N_{240}、N_{360}处理分别比 N_0 增加 88.7%、53.2%、53.2%、107.5%。

2.2.3 施氮量与植株氮浓度的相关性　相关分析(表 4)表明,施氮量与小麦植株全氮含量呈正相关,尤其在小麦拔节期($r=0.932^{**}$、$r=0.740^{**}$)和开花期($r=0.895^{**}$、$r=0.907^{**}$),两者的相关性达到极显著水平,与小麦抽穗期、开花期和灌浆期茎基部硝酸盐含量也呈显著正相关关系。

2.3　施氮对小麦赤霉病发病率和病情指数的影响

从图 2 可以看出,两个小麦品种赤霉病病穗率随施氮量增加而增加,各处理间差异显著。豫麦 49-198 的赤霉病病穗率为 22.1%～51.3%,N_{120}、N_{180}、N_{240}、N_{360} 处理比 N_0 分别增加 29.5%、62.6%、103.5%、132.0%,各施氮处理赤霉病病穗率比不施氮处理平均高 18.1%;周麦 16 赤霉病病穗率在

28.6%～74.9%之间，N_{120}、N_{180}、N_{240}、N_{360}分别比N_0增加42.4%、84.0%、143.7%、161.8%，各施氮处理赤霉病病穗率比不施氮处理平均高30.9%，豫麦49-198各处理的赤霉病病穗率较低，比周麦16低7%～25%。

表2 施氮对不同小麦品种0—90 cm土层土壤硝态氮累积的影响(kg/hm²)

Table 2 Effects of the nitrogen application on nitrate-nitrogen accumulation in 0-90 cm soil

品种 Cultivar	处理 Treatment	越冬期 Wintering	返青期 Returning	拔节期 Jointing	开花期 Anthesis	收获期 Maturity
豫麦49-198 YM49-198	N_0	66.5 e	88.6 b	77.9 c	75.5 b	42.1 c
	N_{120}	97.3 d	92.2 b	81.4 bc	101.3 b	58.5 c
	N_{180}	142.8 c	92.8 b	94.3 ab	111.8 b	68.9 c
	N_{240}	192.9 b	127.0 a	88.7 abc	163.2 a	178.1 b
	N_{360}	231.5 a	140.0 a	99.9 a	191.7 a	233.8 a
周麦16 ZM16	N_0	58.8 e	94.2 c	61.4 b	78.6 b	59.8 c
	N_{120}	103.8 d	118.1 b	78.2 b	87.8 b	66.7 c
	N_{180}	143.8 c	125.5 b	70.1 b	117.5 b	78.7 c
	N_{240}	179.3 b	134.7 b	80.3 b	176.8 a	117.1 b
	N_{360}	212.4 a	176.6 a	131.4 a	198.5 a	229.2 a

注(Note)：同列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant different among treatments at the 5% level.

表3 施氮对小麦各生育期植株茎基部硝酸盐含量的影响(mg/L)

Table 3 Effects of the nitrogen application on stem sap nitrate concentration of winter wheat growth stage

处理 Treatment	豫麦49-198 YM49-198			周麦16 ZM16		
	孕穗期 Booting	开花期 Anthesis	灌浆期 Filling	孕穗期 Booting	开花期 Anthesis	灌浆期 Filling
N_0	425 e	683 e	535 e	457 d	693 e	863 c
N_{120}	1284 d	1613 d	1607 d	1772 c	2464 d	3673 b
N_{180}	2016 c	2676 c	2082 c	1814 c	3303 c	3913 a
N_{240}	2643 b	3287 b	3454 b	2563 b	3680 b	3936 a
N_{360}	3411 a	4245 a	4219 a	4103 a	4113 a	4047 a

注(Note)：同列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant different among treatments at the 5% level.

表4 施氮量与小麦植株氮浓度的相关性

Table 4 Correlation between the nitrogen application rate and nitrogen concentration in wheat plants

品种 Cultivar	WN	RN	JN	AN	BSN	ASN	FSN
豫麦49-198 YM49-198	0.319	0.118	0.932**	0.895**	0.989**	0.987**	0.980**
周麦16 ZM16	0.637*	0.519*	0.740**	0.907**	0.981**	0.947**	0.805**

注(Note)：WN—越冬期全氮 Wintering N；RN—返青期全氮 Returnning N；JN—拔节期全氮 Jointing N；AN—开花期全氮 Anthesis N；BSN—孕穗期茎基硝酸盐 Stem sap nitrate at the booting，ASN—开花期茎基部硝酸盐 Stem sap nitrate at the anthesis，FSN—灌浆期茎基部硝酸盐 Stem sap nitrate at the filling. *，** 分别表示5%和1%显著水平 Indicate significant differences at the 5% and 1% levels，respectively.

两个品种小麦的病情指数也随施氮量的增加而增加,各处理间差异显著,施氮处理病情指数显著高于不施氮处理。豫麦 49-198 的病情指数在 11.9～38.7 之间,N_{120}、N_{180}、N_{240}、N_{360} 比 N_0 分别增加 35.9%、113.1%、186.2%、225.2%。周麦 16 的病情指数在 17.7～54.3 之间,N_{120}、N_{180}、N_{240}、N_{360} 比 N_0 分别增加 41.7%、134.4%、146.3%、206.9%。周麦 16 各施氮处理的病情指数均比豫麦 49-198 高,高出 28.0%～63.6%。

相关分析(表 5)表明,施氮量与豫麦 49-198 和周麦 16 的赤霉病病穗率和病情指数呈极显著的正相关,相关系数分别为 0.856、0.913 和 0.907、0.956。

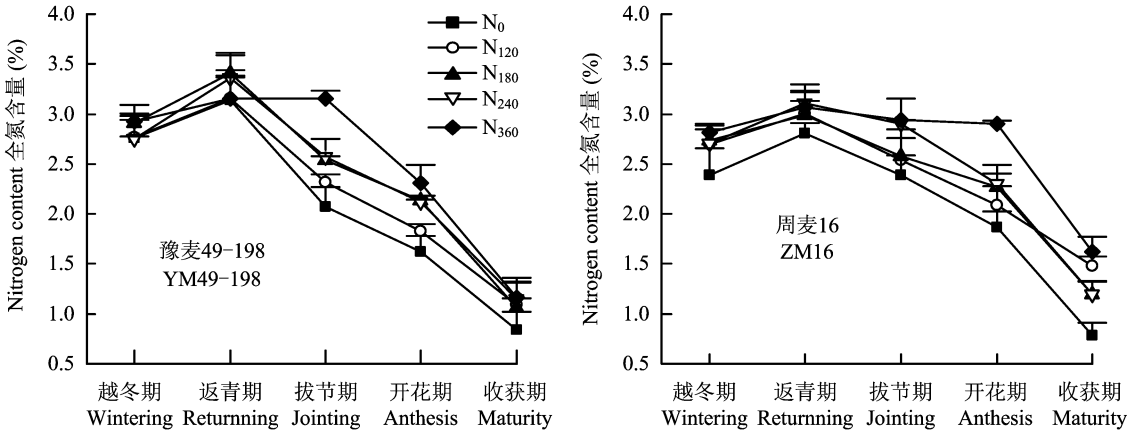

图 1　不同施氮量小麦植株各生育期全氮含量的变化

Fig. 1　Changes of total nitrogen content of the nitrogen application in wheat plants at different growth stages

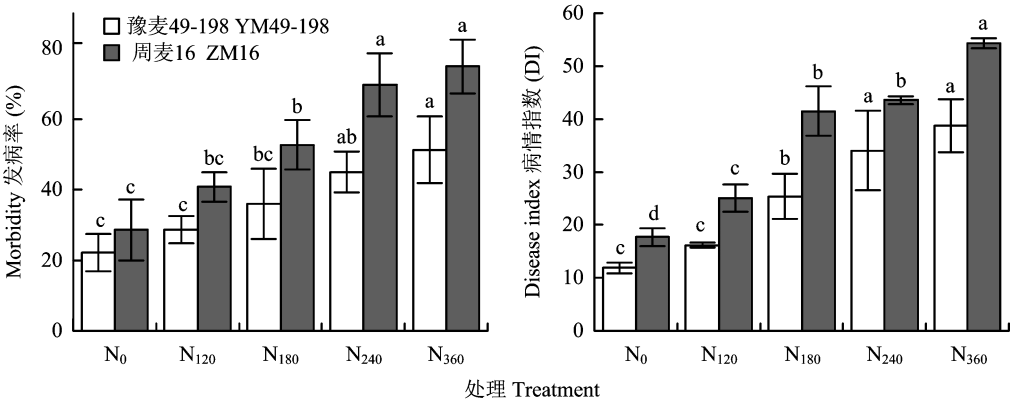

图 2　施氮对小麦赤霉病病穗率和病情指数的影响

Fig. 2　Effects of the nitrogen application on morbidity and disease index (DI) of wheat scab

[注(Note): 柱上不同字母表示处理间差异达 5% Different letters above the bars mean significant among treatments at the 5% level.]

表 5　施氮量与赤霉病的相关性

Table 5　Correlation between N and wheat scab

品种 Cultivar	病穗率 Morbidity	病情指数 Disease index
豫麦 49-198 YM49-198	0.856**	0.907**
周麦 16 ZM16	0.913**	0.956**

注(Note): ** 表示 1% 显著水平 Indicate significant differences at the 1% level.

2.4　土壤硝态氮、植株氮浓度与小麦赤霉病的关系

土壤硝态氮含量与赤霉病病穗率和病情指数呈正相关(表 6),0—30 cm、30—60 cm、60—90 cm 土层土壤的硝态氮含量与病穗率和病情指数相关性在越冬期最高,豫麦 49-198 各土层与病穗率的相关系数分别为 0.840、0.869、0.797,与病情指数的相关系数分别为 0.877、0.926、0.894;周麦 16 各土层与病穗率的相关系数分别为 0.881、0.940、0.909,与病情指数的相关系数分别为 0.954、0.950、

0.846。两个品种小麦0—30 cm和30—60 cm土层硝态氮含量与病穗率和病情指数的相关性在小麦生育期内呈“先降低后增加”趋势,0—30 cm的相关性在拔节期最低,30—60 cm的相关性在开花期最低;60—90 cm的硝态氮含量与赤霉病的相关性,豫麦49-198在收获期最低,周麦16在拔节期和开花期最低。

表6 土壤硝态氮含量与小麦赤霉病病穗率和病情指数的相关性

Table 6 Correlation between soil nitrate content, morbidity and disease index of wheat scab

土层 Soil layer (cm)	生育期 Growth stage	豫麦49-198 YM49-198		周麦16 ZM16	
		病穗率 Morbidity	病情指数 Disease index	病穗率 Morbidity	病情指数 Disease index
0—30	越冬期 Wintering	0.840**	0.877**	0.881**	0.954**
	返青期 Returning	0.669**	0.748**	0.788**	0.813**
	拔节期 Jointing	-0.095	0.053	0.386	0.557*
	开花期 Anthesis	0.647**	0.737**	0.808**	0.819**
	收获期 Maturity	0.821**	0.862**	0.690**	0.734**
30—60	越冬期 Wintering	0.869**	0.926**	0.940**	0.950**
	返青期 Returning	0.702**	0.723**	0.761**	0.776**
	拔节期 Jointing	0.563*	0.664**	0.686**	0.741**
	开花期 Anthesis	0.431	0.512	0.598*	0.747**
	收获期 Maturity	0.819**	0.807**	0.904**	0.932**
60—90	越冬期 Wintering	0.797**	0.894**	0.909**	0.846**
	返青期 Returning	0.730**	0.770**	0.770**	0.764**
	拔节期 Jointing	0.667**	0.695**	0.554*	0.544*
	开花期 Anthesis	0.645**	0.682**	0.505	0.662**
	收获期 Maturity	0.509	0.590*	0.733**	0.750**

注(Note): *, **分别表示5%和1%显著水平 Indicate significant differences at the 5% and 1% levels, respectively.

表7表明小麦各生育期0—90 cm土层的硝态氮累积量与小麦赤霉病病穗率和病情指数呈线性正相关,拟合度呈“先降低后增加”趋势,越冬期最高,拔节期最低,与0—90 cm土层的硝态氮累积量变化趋势一致。小麦赤霉病易感期即开花期0—90 cm土层的硝态氮累积量与赤霉病病穗率和病情指数存在显著线性正相关关系,说明开花期土壤硝态氮累积量增加会加重小麦赤霉病。收获期0—90 cm土层硝态氮累积量与赤霉病病穗率和病情指数也存在显著正相关关系,小麦发生赤霉病后可能降低了小麦对土壤氮素的吸收、利用,从而导致土壤中大量的硝态氮残留。

小麦拔节期、开花期植株全氮含量和孕穗期、开花期、灌浆期茎基部硝酸盐含量与小麦赤霉病病穗率和病情指数线性呈正相关(图3、图4)。两个品种小麦在拔节期和开花期的植株全氮含量与赤霉病病穗率和病情指数的拟合性均达到显著水平,开花期的拟合相关性大于拔节期(图3)。说明小麦开花期植株全氮含量的增加可能会加重小麦赤霉病。

小麦赤霉病病穗率和病情指数随茎基部硝酸盐含量的增加而增加(图4),孕穗期、开花期和灌浆期茎基部硝酸盐含量与赤霉病病穗率和病情指数的拟合均达到显著水平,豫麦49-198的孕穗期茎基部硝酸盐含量与病穗率和病情指数的拟合相关性最大,周麦16在开花期的拟合最好,灌浆期最差。植株全氮含量和茎基部硝酸盐含量增加均会加重小麦赤霉病,说明小麦赤霉病易感期植株的氮素营养状况会影响赤霉病的发病程度。

表 7　0—90 cm 小麦土壤硝态氮累积量与小麦赤霉病的关系

Table 7　Relationship between 0–90 cm soil nitrate-nitrogen accumulation and wheat scab

品种 Cultivar	生育期 Growth stage	发病率 Morbidity		病情指数 Disease index	
		拟合方程 Regression equation	R^2	拟合方程 Regression equation	R^2
豫麦 49–198 YM49–198	越冬期 Wintering	y = 0. 1756x + 10. 927	0. 7745 **	y = 0. 1678x + 0. 7362	0. 8956 **
	返青期 Returning	y = 0. 4190x – 8. 7037	0. 5814 **	y = 0. 3953x – 17. 469	0. 6551 **
	拔节期 Jointing	y = 0. 4701x – 4. 978	0. 156	y = 0. 5530x – 23. 633	0. 2733
	开花期 Anthesis	y = 0. 1728x + 14. 351	0. 4293 **	y = 0. 1742x + 2. 8451	0. 5523 **
	收获期 Maturity	y = 0. 1287x + 21. 632	0. 6732 **	y = 0. 1203x + 11. 281	0. 7447 **
周麦 16 ZM16	越冬期 Wintering	y = 0. 3144x + 9. 4236	0. 9045 **	y = 0. 2259x + 4. 7891	0. 9043 **
	返青期 Returning	y = 0. 5436x – 17. 248	0. 734 **	y = 0. 3937x – 14. 774	0. 7454 **
	拔节期 Jointing	y = 0. 4263x + 17. 391	0. 3822	y = 0. 3439x + 7. 3484	0. 4816 **
	开花期 Anthesis	y = 0. 2819x + 16. 145	0. 6562 **	y = 0. 2134x + 8. 1972	0. 7277 **
	收获期 Maturity	y = 0. 2181x + 29. 26	0. 5799 **	y = 0. 1646x + 18. 175	0. 6394 **

注(Note): *, ** 分别表示达 5% 和 1% 显著水平 Indicate significant differences at the 5% and 1% levels, respectively.

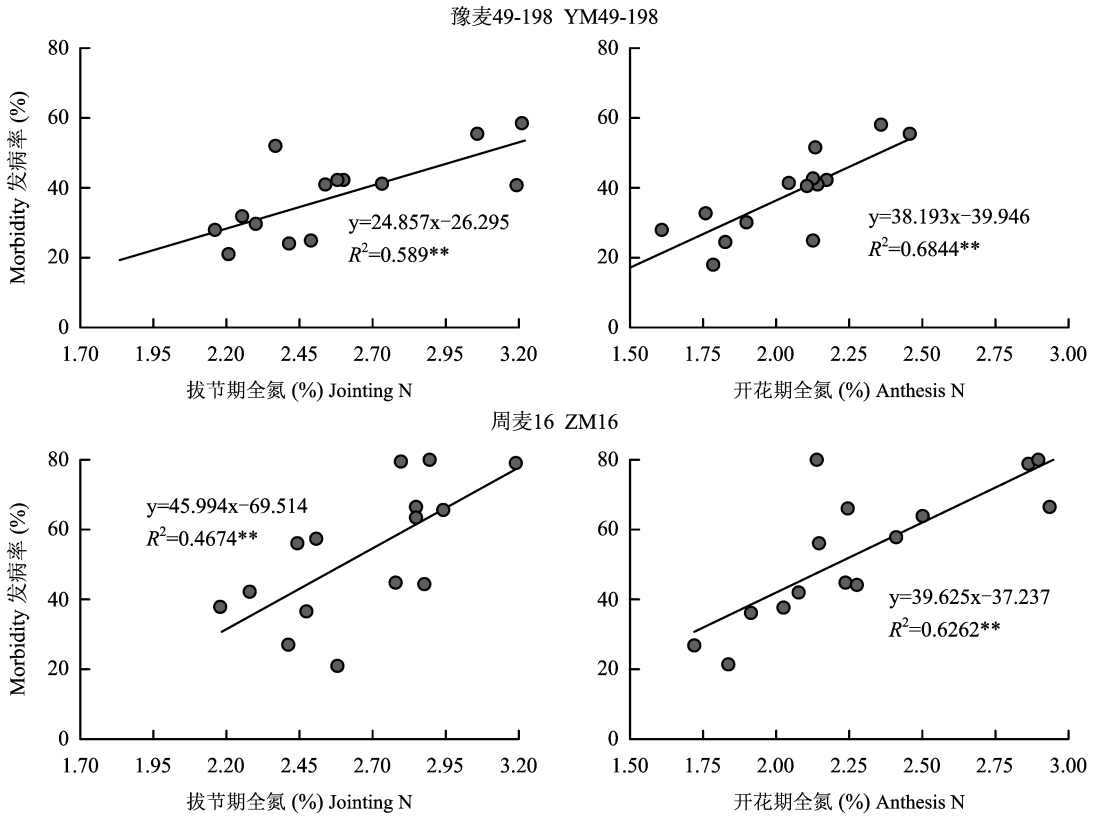

图 3　植株全氮含量与小麦赤霉病的关系

Fig. 3　Relationship between the plant total nitrogen content and wheat scab

[注(Note): ** 表示达 1% 显著水平 Indicate significant difference at the 1% levels.]

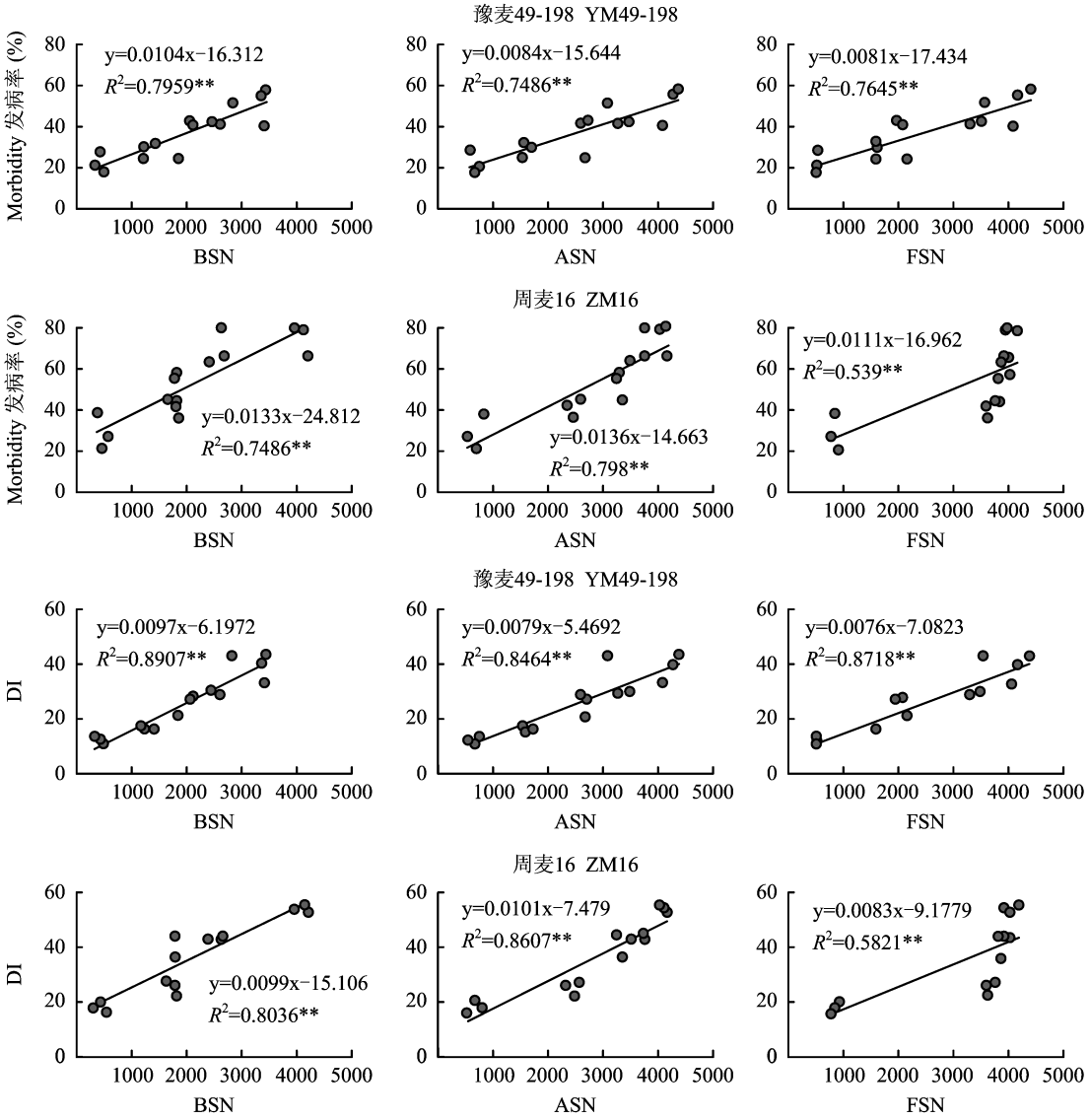

图4 茎基部硝酸盐含量与小麦赤霉病的关系

Fig. 4 Relationships between the stem base nitrate and wheat scab

[注(Note):BSN—孕穗期茎基部硝酸盐 Stem sap nitrate at the booting; ASN—开花期茎基部硝酸盐 Stem sap nitrate at the anthesis; FSN—灌浆期茎基部硝酸盐 Stem sap nitrate at the filling; DI—病情指数 Disease index. *, ** 分别表示达5%和1%显著水平 Indicate significant differences at the 5% and 1% levels, respectively.]

3 讨论

氮素与作物病害方面前人做了大量研究,有研究指出施氮会加重小麦白粉病和壳针孢叶斑病[26]病害,还可使魔芋[27]和烟草赤星病[28]、黑胫病[29]发病率增加;Hoffland 等研究指出,番茄叶片氮浓度与病原菌感病性显著正相关[30];金霞等指出烟叶中氮含量与赤星病发病率和病情指数显著正相关[28]。说明施氮量及氮浓度增加了菌落密度,使病原菌感病力增强,在作物感病期明显表现出发病症状。本研究表明,小麦拔节期、开花期的植株全氮含量和抽穗期、开花期以及灌浆期茎基部的硝酸盐含量与小麦赤霉病病穗率和病情指数呈显著线性正相关,与前人研究的氮含量与病害关系的结果相似。小麦赤霉病是典型气候型病害,气候是导致小麦赤霉病发生的直接因素[31],但是影响其发病严重程度的因素有很多,耕作制度[32]、品种、播量、播种日期、杀菌剂的使用、施肥[8-11]等。研究指出前茬作物为玉米的地块更有利于引发赤霉病的镰刀菌接种和繁殖[32],小麦在抽穗扬花期大量孢子存在情况下若遇到连续阴雨天气极易导致赤霉病的发生,因为该时期小麦花药可以诱导病菌孢子生长[33],高温高湿的气候条件加速了病菌

的传播[31]。不同施氮量和氮浓度条件下赤霉病的发病程度的不同可能是不同施氮量和氮浓度环境下形成的镰刀菌菌落大小和密度的不同造成的。余洪菊[10]研究表明,相同施氮量下加大前期氮肥投入量可以降低小麦赤霉病的发病率,相同基追比条件下拔节期追肥的赤霉病发病最重,孕穗期和返青期较轻,说明不同氮肥运筹会影响赤霉病的发病程度。

Delin 等[20]研究指出,感病小麦对氮素的吸收利用降低,收获后土壤中硝态氮累积增加,本研究结果表明,收获期小麦 0—90 cm 土壤硝态氮累积量与赤霉病病穗率和病情指数呈显著线性正相关,可能由于赤霉病使小麦对土壤氮的利用能力降低,进而导致土壤中硝态氮的大量累积。欧盟规定大田作物收获后 0—90 cm 土壤硝态氮残留量不应超过 90～100 kg/hm^2[34],冬小麦/夏玉米轮作体系中 0—90 cm 土层硝态氮应控制在 65～151 kg/hm^2 之间[35],叶优良等指出 0—90 cm 土层土壤硝态氮累积量不应超过 120～140 kg/hm^2,小麦氮用量不能超过 180 kg/hm^2[36],大田作物获得较高产量的平均适宜施氮为 150～180 kg/hm^2[37]。本研究表明收获后 N_0、N_{120}、N_{180}处理 0—90 cm 硝态氮累积量差异不显著,均低于 100 kg/hm^2,另外两个小麦品种 N_{180}处理的赤霉病发病率和病情指数均与 N_0、N_{120}差异较小,因此认为施氮量为 180 kg/hm^2 既可以减少土壤的硝态氮残留,又可以减轻小麦赤霉病的危害,提高小麦产量。因此,在小麦的高产管理中,要根据小麦氮肥实时实地管理技术[38],合理施用氮肥,选用抗赤霉病等病害的小麦品种[39],以减轻小麦病害,提高肥料利用率[40],提高小麦的产量和品质,并且应兼顾氮肥的环境效益和经济效益。

4　结论

两个小麦品种的赤霉病病穗率和病情指数随施氮量的增加而增加,周麦 16 比豫麦 49-198 的发病严重。两个小麦品种在收获期 0—30 cm 土层土壤的硝态氮含量及 0—90 cm 土层的硝态氮累积量 N_{180}、N_{120}和 N_0 3 个处理的差异较小;小麦赤霉病病穗率和病情指数与各土层硝态氮含量的相关性在越冬期最大,与 0—90 cm 土层的硝态氮累积量呈线性正相关。拔节～开花期植株全氮含量及孕穗期、开花期、灌浆期茎基部的硝酸盐含量与小麦赤霉病病穗率和病情指数呈显著线性关系。因此认为既能降低小麦收获期土壤硝态氮累积量又能减轻赤霉病危害的适宜施氮量为 N 180 kg/hm^2。

参 考 文 献:

[1] McMullen M, Jones R, Gallenberg D. Scab of wheat and barley: a re-emerging disease of devastating impact[J]. Plant Disease, 1997, 81: 1340-1348.

[2] 宋玉立, 何文兰, 杨共强, 等. 河南省小麦赤霉病的发生特点及防治对策[J]. 河南农业科学, 2000, (4): 14.
Song Y L, He W L, Yang G Q *et al.* The incidence character of wheat scab in Henan province and its control countermeasure[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2000, (4): 14.

[3] Yuen G Y, Schoneweis S D. Strategies for managing *Fusarium* head blight and deoxynivalenol accumulation in wheat [J]. International Journal of Food Microbiology, 2007, 119: 126-130.

[4] 唐洪, 彭恒, 刘明龙, 等. 小麦赤霉病田间病情与抽穗扬花期气象条件和病粒率关系[J]. 中国植保导刊, 2012, 32(7): 10-12.
Tang H, Peng H, Liu M L *et al.* Relationships among field condition of wheat scab and climate and percentage of *Fusarium*-infected kernels at the heading and flowering stage[J]. China Plant Protection, 2012, 32(7): 10-12.

[5] 吴欣, 沈跃鹏, 宋晓, 等. 2012 年开封市小麦赤霉病大发生原因分析及防治对策[J]. 陕西农业学, 2013, 59(1): 117, 201.
Wu X, Shen Y P, Song X *et al.* The analysis of wheat scab causes and countermeasures in Kaifeng City,2012[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2013, 59(1): 117, 201.

[6] 韩战敏,丁征宇, 赵宗林, 等. 2012 年豫西小麦赤霉病发生特点及防控措施[J]. 中国植保导刊, 2013, 33(3): 22-24.
Han Z M, Ding Z Y, Zhao Z L *et al.* The occurrence characteristics, prevention and control measures of wheat scab in the western region of Henan Province, 2012[J]. China Plant Protection, 2013, 33(3): 22-24.

[7] 马学文, 陈思宏, 倪运东, 等. 2012 年洪泽县小麦赤霉病发生特点与原因分析[J]. 中国植保导刊, 2012, 32(10): 28-30.
Ma X W, Chen S H, Ni Y D *et al.* Analysis of wheat scab characteristics and causes in Hongze County, 2012[J]. China Plant Protection, 2012, 32(10): 28-30.

[8] 赵鹏飞, 黄文超, 高超男, 等. 小麦白穗病发生与主要栽培管理措施的关系研究初报[J]. 华北农学报, 2012, 27(增刊1): 368-373.
Zhao P F, Huang W C, Gao C N *et al.* Preliminary report on the relationship between occurrence of white ear symptom in winter wheat and the prominent agricultural management practices[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2012, 27(S1): 368-373.

[9] 尤爱琴, 童相兵, 张昌杰, 等. 宁海县小麦主栽因子对赤霉病为害的影响[J]. 浙江农业学报, 2011, 23(1): 107-110.
You A Q, Tong X B, Zhang C J *et al.* Effect of cultivation factors on wheat scab in Ninghai County [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2011, 23(1): 107-110.

[10] 余洪菊. 沿淮稻茬麦赤霉病发生程度与品种、播期、施肥等关系的调查[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(7): 191-192.
Yu H J. A survey of the relationship between rice stubble wheat scab and variety, sowing date, fertilization and other factors

around Huai River[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2009, 15(7): 191-192.

[11] 乔玉强, 曹承富, 赵竹, 等. 秸秆还田与施氮量对小麦产量和品质及赤霉病发生的影响[J]. 麦类作物学报, 2013, 33(4): 727-731.
Qiao Y Q, Cao C F, Zhao Z *et al*. Effect of straw and nitrogen on wheat yield and quality and scab occurring[J]. Journal of Triticeae Crops, 2013, 33(4): 727-731.

[12] Lemmens M, Haim K, Lew H, Ruckenbauerl P. The effect of nitrogen fertilization on fusarium head blight development and deoxynivalenol contamination in wheat [J]. Phytopathology, 2004, 152: 1-8.

[13] Jensen B, Munk L. Nitrogen-induced changes in colony density and spore production of *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*on seedlings of six spring barley cultivars[J]. Plant Pathology, 1997, 46(2): 191-202.

[14] Hoffland E, Marinus L, Beusichem V *et al*. Nitrogen availability and susceptibility of tomato leaves to Botrytis cinerea[J]. Plant Soil, 1999, 210: 263-272.

[15] 王玲敏. 氮素调控对高产小麦干物质转移、氮素吸收及土壤硝态氮累积的影响[D]. 郑州: 河南农业大学硕士论文, 2012.
Wang L M. Nitrogen regulation on the transfer of dry matter, nitrogen uptake and soil nitrate accumulation in high-yielding wheat [D]. Zhengzhou: Ms thesis of Henan Agricultural University, 2012.

[16] 叶优良, 张福锁, 李生秀, 等. 土壤供氮能力指标研究[J]. 土壤通报, 2001, 32(6): 273-277.
Ye Y L, Zhang F S, Li S X *et al*. Study on soil nitrogen supplying indexes[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2001, 32(6): 273-277.

[17] 赵俊晔, 于振文. 小麦-土壤系统氮肥转化利用的研究进展[J]. 土壤通报, 2006, 37(3): 595-600.
Zhao J Y, Yu Z W. Transformation and use of nitrogen fertilizer in the wheat-soil system[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(3): 595-600.

[18] 王桂良. 超高产小麦干物质累积、氮素营养及诊断研究[D]. 郑州: 河南农业大学硕士论文, 2009.
Wang G L. Dry matter accumulation, nitrogen nutrition and diagnosis of super-high-yield wheat[D]. Zhengzhou: Ms thesis of Henan Agricultural University, 2009.

[19] 贾良良, 陈新平, 张福锁, 等. 叶绿素仪与植株硝酸盐浓度测试对冬小麦氮营养诊断准确性的比较研究[J]. 华北农学报, 2007, 22(6): 157-160.
Jia L L, Chen X P, Zhang F S *et al*. The comparision of spad chlorophyll meter and sap nitrate test as N diagnosis methods for winter wheat[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2007, 22(6): 157-160.

[20] Delin S, Nyberg A, Lindén B. Impact of crop protection on nitrogen utilization and losses in winter wheat production[J]. European Journal of Agronomy 2008 (28): 361-370.

[21] 程顺和, 张勇, 别同德, 等. 中国小麦赤霉病的危害及抗性遗传改良[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(5): 938-942.
Cheng H S, Zhang Y, Bie T D, Damage of wheat *Fusarium* head blight (FHB) epidemics and genetic improvement of wheat for scab resistance in China[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2012, 28(5): 938-942.

[22] 曾娟, 姜玉英. 2012年我国小麦赤霉病暴发原因分析及持续监控与治理对策[J]. 中国植保导刊, 2013, 33(4): 38-41.
Zeng J, Jiang Y Y. Analysis of wheat scab outbreaks and ongoing monitoring and countermeasures in 2012[J]. China Plant Protection, 2013, 33(4): 38-41.

[23] 于亮, 陆莉. 冬小麦氮素营养诊断的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(10): 2861-2863.
Yu L, Lu L. Research advance on nutrient diagnoses of winter wheat[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2007, 35(10): 2861-2863.

[24] 张匀华. 小麦赤霉病发病率与病情指数关系初步研究[J]. 黑龙江农业科学, 2000, (3): 3-5.
Zhang Y H. The relation between incidence and disease severity of wheat scab[J]. Heilongjiang Agricultural Science, 2000, (3): 3-5.

[25] Porta M, Grimalt J O, Jariod M *et al*. The influence of lipid and lifestyle factors upon correlations between highly prevalent organochlorine compounds in patients with exocrine pancreatic cancer[J]. Environment International, 2007, 33: 946-954.

[26] Olesen J E, Jorgensen L N, Petersen J *et al*. Effects of rates and timing of nitrogen fertilizer on disease control by fungicides in winter wheat. 1. Grain yield and foliar disease control[J]. Journal of Agricultural Science, 2003, 140: 15-29.

[27] 李勇军, 马继琼, 陈建华, 等. 施氮量对魔芋病害发生、产量及粘度影响的研究[J]. 西南农业学报, 2010, 23(1): 128-131.
Li Y J, Ma J Q, Chen J H *et al*. Impact of nitrogen application amount on disease incidence, yield and viscosity of konjac[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences. 2010, 23(1): 128-131.

[28] 金霞, 赵正雄, 李忠环, 等. 不同施氮量烤烟赤星病发生与发病初期氮营养、生理状况关系研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(5): 940-946.
Jin X, Zhao Z X, Li Z H *et al*. Study on the relationship between the content of nitrogen and some bio-physiological substances at topping and the occurrence of brown spot of tobacco applied with different amount of nitrogen[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(5): 940-946.

[29] 赵芳, 赵正雄, 徐发华, 等. 施氮量对烟株接种黑胫病前、后体内生理物质及黑胫病发生的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(3): 737-743.
Zhao F, Zhao Z X, Xu F H *et al*. Effect of nitrogen application rate on physiology of flue-cured tobacco plants with or without inoculation of *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae* and the severity of black shank[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(3): 737-743.

[30] Hoffland E, Jeger M J, Beusichem M L. Effect of nitrogen

supply rate on disease resistance in tomato depends on the pathogen[J]. Plant and Soil, 2000, 218: 239-247.

[31] West J S, Holdgate S, Townsend J A. Impacts of changing climate and agronomic factors on fusarium ear blight of wheat in the UK[J]. Fungal Ecology, 2012, (5): 53-61.

[32] Dill-Macky R, Jones R K. The effect of previous crop residues and tillage on fusarium head blight of wheat[J]. Plant Disease, 2000, 84(1): 71-76.

[33] Parry D W, Jenkinson P, Mcleod L. *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals - a review[J]. Plant Pathology, 1995, 44 (2): 207-238.

[34] Hofman G. EU concerted action: nutrient management legislation in European countries[R]. NUMALEC Report, Fair 6-CT98-4215, 1999.

[35] 崔振岭, 陈新平, 张福锁, 等. 华北平原冬小麦/夏玉米轮作体系土壤硝态氮的适宜含量[J]. 应用生态学报, 2007, 18 (10): 2227-2232.
Cui Z L, Chen X P, Zhang F S *et al*. Appropriate soil nitrate N content for a winter wheat/summer maize rotation system in North China Plain[J]. Journal of Applied Ecology, 2007, 18(10): 2227-2232.

[36] 叶优良, 王桂良, 朱云集, 等. 施氮对高产小麦群体动态、产量和土壤氮素变化的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21 (2): 351-358.
Ye Y L, Wang G L, Zhu Y J *et al*. Effects of nitrogen fertilization on population dynamics and yield of high-yielding wheat and on alteration of soil nitrogen[J]. Journal of Applied Ecology, 2010, 21(2): 351-358.

[37] 巨晓棠, 张福锁. 中国北方土壤硝态氮的累积及其对环境的影响[J]. 生态环境, 2003, 12(1): 24-28.
Ju X T, Zhang F S. Nitrate accumulation and its implication to environment in north China[J]. Ecology and Environment, 2003, 12(1): 24-28.

[38] 叶优良, 黄玉芳, 刘春生, 等. 氮素实时管理对冬小麦产量和氮素利用的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(9): 1578-1584.
Ye Y L, Huang Y F, Liu C S *et al*. Effect of in-season nitrogen management on grain yield and nitrogen use efficiency in wheat [J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(9): 1578-1584.

[39] Landschoot S, Audenaert K, Waegeman W *et al*. Influence of maize-wheat rotation systems on fusarium head blight infection and deoxynivalenol content in wheat under low versus high disease pressure[J]. Crop Protection, 2013, 52: 14-21.

[40] Ruske R E, Gooding M J, Jones S A. The effects of triazole and strobilurin fungicide programmes on nitrogen uptake, partitioning, remo-bilization and grain N accumulation in winter wheat cultivars[J]. Journal Agricultural Science, 2003, 140: 395-407.