

不同施肥下冬小麦生长过程中土壤矿质氮变化及其与冬小麦叶片 SPAD 值的关系

张 燕¹, 王百群^{1,2}, 何瑞清¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院
水利部水土保持研究所 土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:通过调查分析,研究了塬土长期施肥条件下土壤中矿质氮含量变化及其与地上冬小麦叶片 SPAD 值。结果表明:(1) 整个冬小麦生长期不同土层硝态氮和铵态氮的变化趋势不一致,硝态氮含量是先下降后上升的变化,而铵态氮含量呈一直上升的变化趋势。在没有施过氮肥的处理中,0—20 cm,20—40 cm 土层中土壤硝态氮、铵态氮含量显著低于施用氮肥的处理;(2) 冬小麦生长时期,各个处理叶片 SPAD 值各异,但都是先升高后下降的变化,无氮肥施用的叶片 SPAD 值低于施氮肥的处理;(3) 冬小麦各个生长时期叶片 SPAD 值与土壤不同层次(0—20 cm,20—40 cm)硝态氮含量呈正相关关系,而与铵态氮含量相关性不显著,这表明小麦是对硝态氮较为敏感的作物。本试验结果可以为进一步合理调控氮肥施用、明确施氮对小麦产量和品质的影响提供一定的基础依据。

关键词:矿质氮; 冬小麦; SPAD 值

中图分类号:S512.1⁺1;Q948; S153.6

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)06-0078-05

Changes of Soil Mineral Nitrogen and Its Relationship with Soil and Plant Analyzer Development (SPAD) Values of Winter Wheat Leaves During Winter Wheat Growth Under Different Fertilization

ZHANG Yan¹, WANG Baiqun^{1,2}, HE Ruiqing¹

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract:Through the investigation and analysis, the soil and plant analyzer development (SPAD) values of winter wheat leaves and mineral nitrogen contents of Lou soil under the long-term fertilization were characterized. The results showed that: (1) the changes of nitrate nitrogen and ammonium nitrogen contents in different soil layers were not consistent during the winter wheat growth period. The contents of nitrate nitrogen were decreased first and then increased, while the content of ammonium nitrogen has been rising, the contents of nitrate nitrogen and ammonium nitrogen of treatment with no nitrogen fertilizer were significantly lower than those of treatments with nitrogen fertilizer in the different soil layers (0—20 cm, 20—40 cm); (2) during the growth period of winter wheat, the SPAD values of all treatments were different, but all of which first increased and then decreased. The SPAD values of leaves under the treatment with no nitrogen fertilizer were lower than those of the treatments with nitrogen fertilizer application; (3) during winter wheat growth period, SPAD values of leaves and nitrate nitrogen contents were significantly positively correlated in different soil layers (0—20 cm, 20—40 cm), while their correlation with the content of ammonium nitrogen was not significant, indicating that wheat is sensitive to nitrate nitrogen to some extent. The results could provide the reference for manipulation of the nitrogen fertilizer application and understanding the effect of nitrogen fertilization on the yield and quality of winter wheat.

Keywords: mineral nitrogen; winter wheat; Soil and Plant Analyzer Development (SPAD) value

收稿日期:2016-05-22

修回日期:2016-06-23

资助项目:科技基础性工作专项“农田生态系统资源分布与生源要素现状调查”(2014FY210112);国家自然科学基金项目(40301024)

第一作者:张燕(1991—),女,甘肃会宁人,硕士研究生,从事土壤生态研究。E-mail:zoezy0419@foxmail.com

通信作者:王百群(1968—),男,陕西渭南人,博士,副研究员,从事土壤有机碳氮循环研究。E-mail:bqwang@ms.iswc.ac.cn

冬小麦的生长分为营养生长和生殖生长,从出苗、分蘖、越冬、返青、起身到拔节属于小麦营养生长阶段;从孕穗、抽穗、开花、灌浆至成熟是小麦的生殖生长阶段。小麦的生长发育需要氮、磷、钾、铜、锌、锰、硼等多种元素。氮的吸收有两个高峰,一个是从分蘖到越冬期,吸氮量占总吸收量的 13.5%,另一个是从拔节到孕穗期,吸氮量占总吸收量的 37.3%,开花以后,对氮素的吸收率将逐渐下降,在幼穗分化期小麦对氮的需求量高,如果缺氮将会导致穗小和花数减少,若追施氮肥,可延长穗的分化时间,增加穗粒数。小麦对磷、钾的吸收,随着生长发育的推移而增多,拔节期后吸收率猛增,小麦植株内 40% 以上的磷、钾是在孕穗期以后吸收的。冬小麦属于越冬作物,磷素营养的临界期在苗期,所以,基肥施足磷肥非常重要。由于苗期的根系弱,当遇到干旱和严寒,土壤的供磷和作物对磷的吸收能力会大幅下降,将影响小麦的返青和分蘖,即使追施磷肥也很难补救。从拔节到孕穗期是钾的吸收高峰期,追施钾肥能使茎秆粗壮,根量增加和防止后期叶片的早衰,提高小麦的籽粒重和蛋白质含量^[1]。

作物吸收的氮主要是 NO_3^- 和 NH_4^+ ,也吸收一些可溶性的有机氮化物,如尿素、酰胺、氨基酸等,但数量很有限,低浓度的亚硝酸盐也能被作物吸收。旱地作物以吸收 NO_3^- 为主,即使施用铵态氮,氮也易被硝化。细胞对 NO_3^- 的吸收是一个主动吸收过程,吸收速率很快。进入植物体的硝态氮大部分被储藏在液胞中,对植物不会产生毒害作用,一小部分在根系或叶片中被还原为 NH_3 。作物对铵态氮的吸收存在不同的看法。植物能从土壤中吸收利用不同形态的氮素,而 NO_3^- 和 NH_4^+ 是植物可直接吸收利用的最重要的两种无机态氮源^[2]。作物从介质中吸收 NH_4^+ 会使介质 pH 值降低,吸收 NO_3^- 使介质 pH 值升高,介质 pH 值的变化会影响其他养分的有效性,所以, NO_3^- 和 NH_4^+ 对作物的营养效能不同^[3]。

小麦是中国三大粮食作物之一,常年播种面积、产量分别占粮食总量的 25% 和 22% 左右,在国家粮食安全和社会经济发展中占有举足轻重的地位^[4]。近年来,我国的小麦生产在解决了高产、稳产之后,已把重点转移到优质、高产和高效益上来。氮肥对小麦生产起着决定性作用,氮素既是作物最重要的结构物质,又是酶的主要成分,对作物生理代谢和生长有极其重要的作用。而小麦氮肥利用率较低,氮肥的大量损失产生了诸多弊端:经济效益下降、环境污染严重等问题。合理施用氮肥是提高作物氮肥利用率的重要途径之^[5]。本文研究不同施肥条下不同层次土

壤硝态氮、铵态氮变化及其与冬小麦叶片 SPAD 之间的关系,以期为明确土壤氮素与作物氮素营养生理关系提供一定的依据。

1 材料与方法

1.1 试验概况

试验为田间小区长期定位施肥试验,地点位于陕西省杨凌水土保持研究所试验田中,供试土壤为典型瘠土。氮肥为尿素(N 含量为 46%),磷肥为普钙(P_2O_5 含量为 12%),秸秆为玉米秸秆,有机肥(牛粪、羊粪)。供试作物为北方常种冬小麦。

1.2 试验设计

试验共设 6 个处理(表 1),每个处理 3 次重复,随机机组分布。小区面积 $2.70 \times 1.70 = 4.59 \text{ m}^2$,小区播量 75.7 g,每区 9 行,每行 126 g,165 kg/hm²。播种前清除播种带的玉米残茬,于 2014 年 10 月份进行开沟播种,肥料随播种撒施于小区,播种深度 5~6 cm,生长期遇旱浇水。田间除草及植保措施等统一按照田间正常管理。2015 年 6 月收获,生育期 180 d。

分别于小麦生长越冬期(11 月)、拔节后期(2 月)、乳熟期(5 月)进行土壤样品采集,每个小区按“S”型采样法分层(0—20 cm,20—40 cm)采集土样,充分混匀同一小区各层次土壤样品并剔除土壤中的植物根系及残体,带回实验室备用。试验处理及施肥量见表 1。

表 1 试验处理及施肥量

处理	尿素/ (kg/小区)	磷肥/ (kg/小区)	秸秆/ (kg/小区)	有机肥/ (kg/小区)
1	0.000	0.172	0.000	0.000
2	0.000	0.172	0.000	1.100
3	0.000	0.172	3.440	0.000
4	0.120	0.172	0.000	0.000
5	0.120	0.172	0.000	1.100
6	0.120	0.172	3.440	0.000

1.3 测定指标与方法

土壤测定指标包括土壤含水量、土壤硝态氮和铵态氮。小麦测定指标为叶片 SPAD 值。

测定方法:测定时将新鲜土样,充分混匀后准确称取 10 g 左右放入铝盒,于 105℃ 下烘干测定土壤水分含量^[6]。准确称取 10 g 左右鲜土装入塑料瓶中,加入 1 mol/ml KCl 溶液 100 ml 振荡 1 h,过滤,浸提液中的硝态氮、铵态氮含量用连续流动分析仪测定^[6]。采用日本 Minolta 公司生产的 SPAD—502 叶绿素仪于晴天上午测定田间冬小麦叶 SPAD 值。

1.4 数据处理

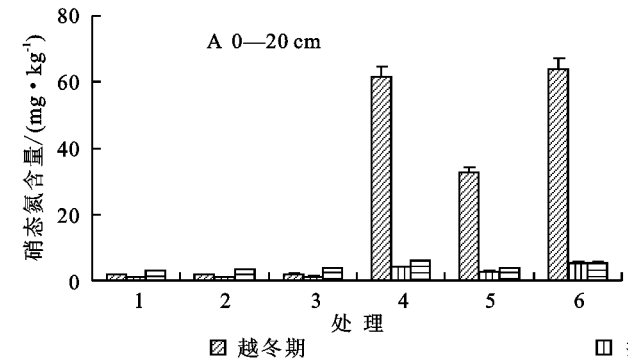
采用 SPSS 20.0 和 Excel 2007 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 冬小麦生长期土壤矿质氮含量变化

2.1.1 冬小麦生长期不同土层土壤硝态氮含量变化

由图 1A 可以看出,0—20 cm 土层土壤硝态氮含量从冬小麦越冬期到拔节后期土壤硝态氮含量逐渐下降,不同处理下降百分比不同,处理 4、处理 5、处理 6 硝态氮含量分别下降 93.3%,91.7%,91.6%,而处理 1、处理 2 和处理 3 硝态氮含量分别下降 46.4%,38.8%,37.1%。而从拔节后期到乳熟期硝态氮含量又开始上升,处理 1、处理 2 和处理 3 硝态氮含量分别上升 63.9%,68.6%,64.6%,而处理 4、处理 5 和处理 6 硝态氮含量分别上升 30.3%,24.9%,23.4%,处理 1、



处理 2 和处理 3 土壤硝态氮含量上升百分比极显著高于处理 4、处理 5 和处理 6。

由图 1B 可以看出 20—40 cm 土层土壤硝态氮含量从冬小麦越冬期到拔节后期土壤硝态氮含量逐渐下降,处理 1、处理 2、处理 3 硝态氮含量分别下降 52.6%,40.1%,40.3%,处理 4、处理 5 和处理 6 硝态氮含量分别下降 72.8%,79.3%,80.0%。而从拔节后期到乳熟期硝态氮含量又开始上升,处理 1、处理 2、处理 3 硝态氮含量分别上升 67.5%,64.4%,54.7%,处理 4、处理 5、处理 6 硝态氮含量上升 76.9%,85.3%,81.2%,处理 1、处理 2 和处理 3 土壤硝态氮含量上升或下降的百分比均显著低于处理 4、处理 5 和处理 6。

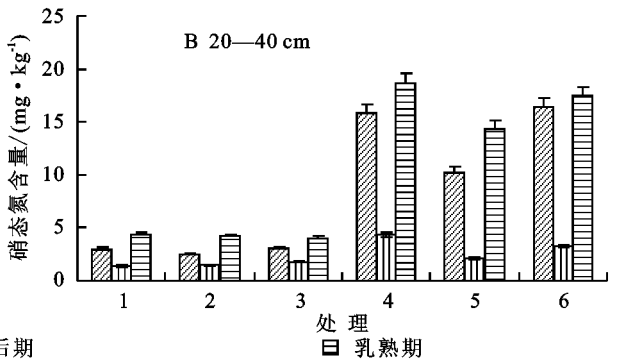


图 1 不同土层不同处理下土壤硝态氮变化

由图 1 可知冬小麦生长期不同土层(0—20 cm,20—40 cm)土壤硝态氮含量变化趋势基本一致,即越冬期到拔节后期不同处理土层土壤硝态氮含量都是下降的趋势,而从拔节后期到乳熟期含量又开始上升。而各个处理两个土层层次(0—20 cm,20—40 cm)上升或下降的百分比不一致,差异显著。

处理 1、处理 2 和处理 3 均未施用尿素,而处理 4 为施用尿素,处理 5 和处理 6 为有机物料与尿素配施(表 1),因此,表明施用尿素对表层土壤硝态氮含量具有显著的影响,表层以下土壤硝态氮含量与施氮量具有密切关系。马茂亭等^[7]研究表明:不同施肥处理下,表层土壤硝态氮含量变化显著,表层以下土壤硝态氮含量主要受时间影响较大。表层土壤是耕作、施肥及作物根系主要活动范围,其硝态氮含量变化受这些因素影响,表层以下土壤硝态氮含量变化主要由于硝态氮随水分移动而引起的,所以随时间推移,硝态氮含量发生明显变化。另外,不同土层中土壤硝态氮变化也受到作物根系吸收硝态氮的影响。

2.1.2 冬小麦整个生长期不同土层土壤铵态氮含量变化

由图 2A 可以看出,0—20 cm 土层中土壤铵态氮含量在冬小麦整个生长期内是一直上升的变化趋势,即从越冬期向拔节后期,及拔节后期到乳熟期的

过程中,土壤铵态氮含量均在升高。在越冬期到拔节的升高过程中不同处理土壤铵态氮含量升高百分都在 70%以上,但是处理 1、处理 2、处理 3 铵态氮含量明显低于处理 4、处理 5 和处理 6,有差异性。在拔节到乳熟期土壤铵态氮升高的过程中,各个处理铵态氮上升百分比差异不显著。

由图 2B 可以看出,20—40 cm 土层中土壤铵态氮含量变化趋势与 0—20 cm 土层中土壤铵态氮变化相同,即在冬小麦越冬期开始土壤铵态氮含量开始上升,一直到拔节后期、乳熟期,铵态氮含量一直在上升。处理 1、处理 2、处理 3 土壤铵态氮含量明显低于处理 4、处理 5 和处理 6 的,差异显著。但不同处理上升百分比都达到 65%以上,差异不显著。而从拔节后期到乳熟期土壤铵态氮含量升高缓慢,各个处理上升百分比小于 25%,差异不显著。

由图 2 可知,冬小麦生长期不同土层(0—20 cm,20—40 cm)土壤铵态氮含量变化趋势一致,即从越冬期向拔节后期、乳熟期过渡中不同土层(0—20 cm,20—40 cm)土壤铵态氮含量均呈上升的趋势。而从越冬期向拔节期过渡中各个处理铵态氮升高的百分比显著高于从拔节期向乳熟期过渡过程中上升的百分比。处理 1、处理 2、处理 3 的铵态氮含量明显

低于处理 4、处理 5 和处理 6 的,其原因可能是处理 1、处理 2、处理 3 没有氮源补充,综上,施氮与否对表

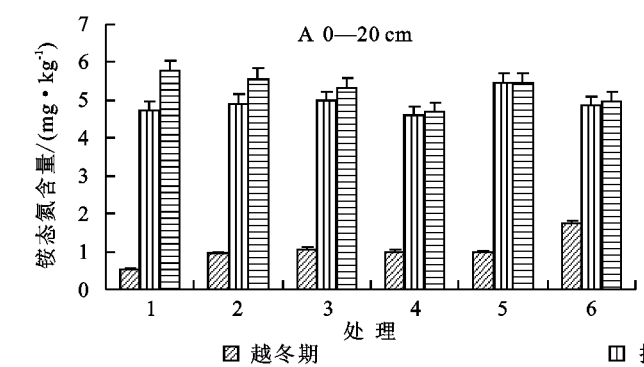


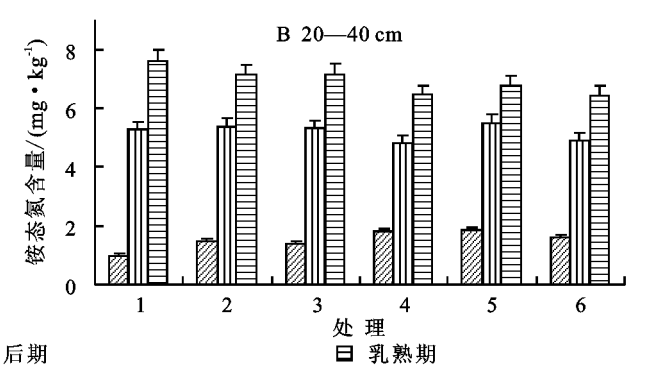
图 2 不同土层不同处理土壤铵态氮含量变化

综合分析可知,在同一生长期,各个处理中相同土壤层次中(0—20 cm,20—40 cm)土壤硝态氮含量高于铵态氮含量,底肥施用氮肥的处理土壤中硝态氮、铵态氮含量均高于未施用氮肥的处理。作为土壤无机氮的主要组分,硝态氮和铵态氮在土壤—植物—大气—水系统的物质循环中不断进行迁移和转化,是土壤肥力最活跃的因素之一。任何土壤都同时存在铵态氮与硝态氮的转化平衡,相互转化过程是一系列生化反应,这些生化反应都是酶促反应,受到气温、土壤 pH、微生物种群、施肥等的影响^[9]。所以施用氮肥后的一段时间里由于施肥点土壤局部氮浓度提高,转化氮肥形态的生化作用相应增强,所以相应的硝态氮含量高。硝态氮在土壤中主要以溶质的形式存在于土壤溶液中,其运移规律直接受土壤含氮量、含水量、水流运动状态和土壤物理性质的影响。硝态氮的运移可分为垂直向下淋移和水平扩散 2 种形式^[10-11],硝态氮在土壤中存在形态决定了其移动的特点,一旦过量累积就会导致其往下淋溶运移,甚至污染地下水^[11]。不合理的施肥模式会造成过多的氮肥施入农田中,从而为土壤硝态氮过量累积往下淋溶埋下了风险。

2.2 不同施肥条件下小麦叶片 SPAD 值的动态变化

小麦叶片 SPAD 值是间接表征叶片叶素绿含量的指标。由图 3 看出在越冬期、拔节后期和乳熟期,不同处理冬小麦 SPAD 值含量各异,其中越冬期到拔节后期冬小麦 SPAD 值逐渐上升,拔节期结束后又开始下降,乳熟期 SPAD 值显著低于拔节期。在每个生长期,处理 1、处理 2、处理 3 的 SPAD 值均低于处理 4、处理 5、处理 6 的,由表 1 看出,处理 1、处理 2、处理 3 是未施用过尿素的处理,而处理 4、处理 5 和处理 6 底肥有氮源补充,因此,可以推断施氮量对叶片 SPAD 值有一定的影响。牛立元等^[12]指出:在小麦生长的整个时期,叶绿素的变化趋势呈现出一条“帽形”的曲线,整条曲线大致可以分成冬前到越冬期的缓降期,越冬至返青期的迅速上升期,返青至灌

层土壤铵态氮含量有一定影响,这与许祥富等研究结果一致^[8]。



浆的平顶期,灌浆至蜡熟的速降期以及蜡熟至完熟的缓降期。本图中越冬期 SPAD 值明显低于拔节后期的 SPAD 值,而从拔节后期到乳熟期 SPAD 含量急剧下降,符合牛立元等研究的叶绿素曲线。这可能是因为冬前气温较高,种子根活力旺盛,植株光合能力强,叶绿素含量急剧上升;拔节期光合作用旺盛,叶绿素含量继续增长,导致 SPAD 值增大。而在乳熟期光合作用基本达到极致,开始成熟,叶片开始发黄,叶绿素含量下降,SPAD 值也下降。

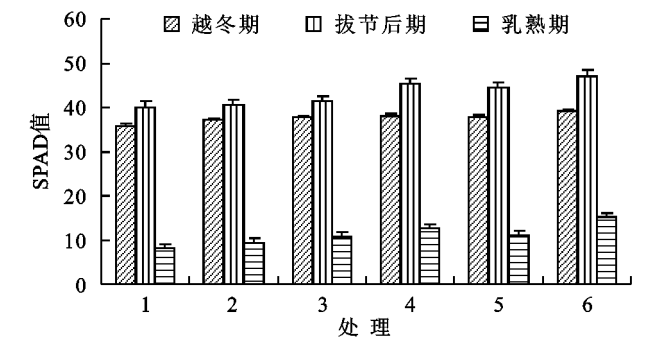


图 3 冬小麦生长时期不同处理 SPAD 值变化

2.3 不同土层土壤矿质氮与冬小麦叶片 SPAD 值的关系

各处理下两个土层(0—20 cm,20—40 cm)硝铵态氮含量与不同生长期冬小麦叶片 SPAD 值的相关性分析表明(表 2):冬小麦不同生长期 SPAD 值与各个处理不同土壤层次硝态氮呈显著线性正相关关系,而铵态氮含量与 SPAD 值相关性不显著。即越冬期各个处理,0—20 cm,20—40 cm 土层硝态氮均与叶片 SPAD 值呈显著的正相关关系,铵态氮相关性不显著,拔节后期、乳熟期各个处理不同土层土壤硝态氮也与叶片 SPAD 值呈显著正相关关系。已有研究报道了不同形态氮素几乎影响了光合作用的各个环节,包括叶片叶绿素含量、光合速率、暗反应主要酶活性等^[13],直接或间接影响着光合作用。而氮素处理下,小麦叶片的叶绿素含量显著提高。

Cramer 等^[14]研究表明,铵态氮营养下,小麦叶片的光合速率只有硝态氮营养下的 85%左右。戴廷

波等^[15]进行了水培研究,结果表明,硝、铵态氮素混合营养比硝态氮营养显著提高小麦叶绿素含量、净光合速率及可溶性糖含量。肖凯等^[16]报道,叶片的叶绿素含量、光合速率(Pn)、RuBPcase 初始活性、RuB-Pcase 含量、叶肉导度(gm)、碳酸酐酶(CA)活性、Psl 活性和 Psn 活性均以硝、铵态氮素混合营养较高,硝态氮处理次之,铵态氮处理较低。曹翠玲等^[17]研究表明,小麦在硝、铵态氮素混合营养下,生长中后期叶绿素含量最高。本结果进一步说明,叶片中 SPAD 值的变化与土壤硝态氮含量有一定的相关性。

表 2 不同土层土壤硝态氮和铵态氮与冬小麦叶片 SPAD(Y)的回归分析

生长期	回归方程	决定系数
越冬期	$Y=0.0280X_1+36.801$	0.617
	$Y=0.128X_2+36.486$	0.612
	$Y=-1.419X_3+44.877$	0.147
	$Y=-2.128X_4+48.635$	0.304
拔节后期	$Y=1.563X_1+39.070$	0.953
	$Y=2.055X_2+38.199$	0.665
	$Y=-5.817X_3+73.079$	0.336
	$Y=-6.822X_4+78.607$	0.425
乳熟期	$Y=1.751X_1+3.985$	0.698
	$Y=0.282X_2+8.216$	0.660
	$Y=-4.627X_3+34.995$	0.299
	$Y=-6.329X_4+44.086$	0.414

注: X_1 表示 0—20 cm 土层硝态氮含量; X_2 表示 20—40 cm 土层硝态氮含量; X_3 表示 0—20 cm 土层铵态氮含量; X_4 表示 20—40 cm 土层铵态氮含量。

3 结论

土壤矿质氮(硝态氮和铵态氮)是植物吸收的两种主要的无机氮素形态,土壤中矿质氮含量及其分布的动态变化受到施氮量、降水条件及土壤环境及作物吸收等因素的综合影响。本文通过对不同施肥条件冬小麦生长过程中不同土层矿质氮变化及其对冬小麦叶片 SPAD 值的影响进行观测和分析,取得了以下结论:

- (1) 在冬小麦生长过程中,不同土层硝态氮和铵态氮的变化趋势不一致,硝态氮含量是先下降后上升的变化,而铵态氮含量是一直上升的变化趋势。在没有施过氮肥的处理中,0—20 cm,20—40 cm 土层中土壤硝态氮、铵态氮含量显著低于施用氮肥的处理。
- (2) 冬小麦生长时期,各个处理叶片 SPAD 值各异,但都是先升高后下降的变化,未施氮肥的处理中叶片 SPAD 值低于施氮肥处理。
- (3) 在冬小麦各个生长时期叶片 SPAD 值与土壤不同层次(0—20 cm,20—40 cm)硝态氮含量呈正

显著相关关系,而与铵态氮含量相关性不显著。

参考文献:

- [1] 李娜. 氮素形态的小麦增产效果及生理机制探讨[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2013.
- [2] Ruan J, Gerendás J, Härdter R, et al. Effect of nitrogen form and root-zone pH on growth and nitrogen uptake of tea (*Camellia sinensis*) plants[J]. Annals of Botany, 2007,99(2):301-310.
- [3] Mengel K, Robin P, Salsac L. Nitrate reductase activity in shoots and roots of maize seedlings as affected by the form of nitrogen nutrition and the pH of the nutrient solution[J]. Plant Physiology, 1983,71(3):618-622.
- [4] 马宗斌. 不同形态氮素配施对专用小麦籽粒产量和品质形成的调控研究[D]. 郑州:河南农业大学,2007.
- [5] Heberer J A, Below F E. Mixed nitrogen nutrition and productivity of wheat grown in hydroponics[J]. Annals of Botany, 1989,63(6):643-649. 2007.
- [6] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [7] 马茂亭,安志装,邹国元,等. 不同施肥措施对土壤氮素时空变化的影响[J]. 北方园艺,2013(22):168-171.
- [8] 许祥富,林钊沐,林清火,等. 施氮量对橡胶园土壤铵态氮和硝态氮垂直分布的影响[J]. 热带农业科学,2009,29(5):6-11.
- [9] 奚振邦. 硝态氮与铵态氮[J]. 磷肥与复肥,2011,26(1):62-65.
- [10] Knighton R E, Wagenet R J. Simulation of solute transport using a continuous time Markov process; 2. Application to transient field conditions[J]. Water Resources Research, 1987,23(10):1917-1925.
- [11] Chang C, Entz T. Nitrate leaching losses under repeated cattle feedlot manure applications in Southern Alberta[J]. Journal of Environmental Quality, 1996,25(1):145-153.
- [12] 牛立元,茹振钢. 小麦叶片叶绿素含量系统变化规律研究[J]. 麦类作物,1999,19(2):36-39.
- [13] 马宗斌. 不同形态氮素配施对专用小麦籽粒产量和品质形成的调控研究[D]. 郑州:河南农业大学,2007.
- [14] Cramer M D, Lewis O A M. The influence of NO_3^- and NH_4^+ nutrition on the carbon and nitrogen partitioning characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.) and maize (*Zea mays* L.) plants[J]. Plant and Soil, 1993,154(2):289-300.
- [15] 戴廷波,曹卫星,孙传范,等. 增铵营养对小麦光合作用及硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶的影响[J]. 应用生态学报,2003,14(9):1529-1532.
- [16] 肖凯,张树华,邹定辉,等. 不同形态氮素营养对小麦光合特性的影响[J]. 作物学报,2000,28(1):53D58.
- [17] 曹翠玲,李生秀. 氮素形态对小麦中后期的生理效应[J]. 作物学报,2003,29(2):258-262.