

华利民,刘慧颖,韩瑛祚. 不同氮输入方式对草甸土土壤铵态氮运移的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(10):278-281.

# 不同氮输入方式对草甸土土壤铵态氮运移的影响

华利民, 刘慧颖, 韩瑛祚

(辽宁省农业科学院植物营养与环境资源研究所, 辽宁沈阳 110161)

**摘要:**在不同氮输入方式下,研究了辽宁省大凌河流域耕型壤质草甸土大田玉米土壤铵态氮运移动态规律。结果表明:CK 处理各土层铵态氮含量随生育期推进均呈显著的“N”字型变化;拔节期前土壤铵态氮含量主要是受气温回升影响;拔节期后主要是受植株生长影响,呈先降后升趋势;土壤自身有恢复功能。外源氮的输入干扰了各层土壤铵态氮含量,土壤铵态氮含量随施肥量增加而增加,外源氮对浅层土壤铵态氮含量变化的影响大于底层土壤。减氮 20% 的秸秆还田 + 优化施肥处理和缓控释肥料处理的整个生育期各层土壤铵态氮累积含量分别比农民习惯施肥处理增加了 2.97%、17.50%。缓控释肥料的施用使养分释放高峰期持续了 1 个月,可及时满足籽实成熟期养分供应。

**关键词:**氮输入;玉米;土壤铵态氮;草甸土

**中图分类号:** S143.1<sup>+</sup>2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2013)10-0278-03

氮素是植物生长发育所需要的最重要的营养元素,也是土壤肥力中最活跃的因子。植物吸收的氮素以铵离子和硝酸根离子为主。铵离子可以直接被植物吸收,也可以被土壤胶粒吸附,而硝酸根离子不能被土壤胶粒吸附,只能存在于土壤溶液中随溶液移动,造成氮素损失和地下水污染。铵离子不稳定,容易以氨气形态挥发,又会发生亚硝化反应和硝化反应转化为硝酸根离子。目前针对土壤铵离子的研究较少,更多的研究是针对土壤中硝酸根离子。本研究针对辽宁省大凌河

流域耕型壤质草甸土旱地典型种植制度,探讨不同氮输入方式对土壤铵态氮运移的影响,以期对相关理论研究和生产提供依据。

## 1 材料与方法

试验于 2008—2009 年在辽宁省凌海市农业技术推广中心科技示范场进行,试验地点位于凌海市新庄子镇曹家村。供试土壤为耕型壤质草甸土,土壤剖面化学性质见表 1。

表 1 土壤剖面化学性质

土壤层次 (cm)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	有机质 (g/kg)	pH 值	硝态氮 (mg/kg)	铵态氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
0~20	1.41	0.98	22.19	22.70	7.1	30.34	0.70	55.90	177
20~40	0.54	0.50	21.66	8.50	7.9	22.87	0.48	1.50	95
40~60	0.72	0.50	21.22	11.50	7.8	12.07	0.01	1.00	152
60~80	0.32	0.40	22.98	7.80	7.8	17.77	0.05	1.20	100
80~100	0.17	0.31	24.67	2.80	7.9	15.64	0.05	1.00	60
100~120	0.43	0.38	22.94	7.30	7.6	34.33	0.06	2.60	97

试验采用随机区组设计,共 5 个处理:(1)空白(CK)处理,施 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 量分别为 0、39.75、52.5 kg/hm<sup>2</sup>; (2)农民习惯施肥(FP)处理,施 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 量分别为 263.25、39.75、52.5 kg/hm<sup>2</sup>; (3)优化施肥(OPT)处理,施 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 量分别为 210、39.75、52.5 kg/hm<sup>2</sup>; (4)秸秆还田+化肥(OPTS)处理,秸秆全部还田(7 561 kg/hm<sup>2</sup>),化肥施用量同处理 3,本处理忽略秸秆中养分量,只研究化肥氮的影响; (5)缓控施肥(CRF)处理,施用包膜尿素,其他化肥施用量同处理

3,播种期一次性施肥。每个处理 3 次重复,每个小区面积为 30.8 m<sup>2</sup>。处理 2、3、4 春季播种时施入氮肥总量 1/3,7 月 2 日追施氮肥总量 2/3。

2008 年 11 月 1 日将玉米秸秆全部还田,2009 年 5 月 14 日播种,同时施底肥,5 月 21 日出苗,7 月 2 日追肥。整个生育期共取剖面土 7 次,分别为播种前(5 月 13 日)、苗期(6 月 4 日)、拔节期(6 月 26 日)、孕穗期(7 月 16 日)、抽雄期(7 月 28 日)、乳熟期(8 月 28 日)、完熟期(10 月 10 日),分别取 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm、100~120 cm 深度土壤,用 CaCl<sub>2</sub> 浸提流动分析仪法测定土壤铵态氮含量。

供试玉米品种为金城 29;包膜尿素为山东金正大集团生产,含 N 量 35%;尿素为辽宁华锦通达化工股份有限公司生产,尿素含量为 46.4%;磷肥为过磷酸钙,秦皇岛抚宁化工有限公司生产,含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 量为 12%;钾肥为硫酸钾,盘锦恒兴化工有限责任公司生产,含 K<sub>2</sub>O 量为 50%。

收稿日期:2013-03-28  
基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项(编号:200803036、201103039)。  
作者简介:华利民(1965—),女,辽宁沈阳人,副研究员,从事植物营养和土壤化学研究。  
通信作者:刘慧颖,硕士,研究员,从事植物营养和环境资源研究。  
E-mail:liujinhuiying@126.com。

## 2 结果与分析

### 2.1 CK 处理土壤铵态氮含量的动态变化

CK 处理是其他处理各生育期土壤铵态氮变化的重要标识<sup>[1]</sup>,其变化应该考虑到各层土壤中原有铵态氮分布情况,考虑到气候等因素和作物生长过程根系对土壤铵态氮的影响。如果其他处理土壤铵态氮含量的变化趋势与 CK 处理不同,可以考虑是否由于不同施肥方式引起的。

由图 1 可见,在整个玉米生育期,各层土壤铵态氮含量呈显著的“N”字型变化,土壤铵态氮含量在 6 月 26 日(拔节期)达到最大值,在 10 月 10 日(完熟期)为次高,在 6 月 4 日(苗期)、7 月 28 日(抽雄期)是土壤铵态氮含量的低谷期。

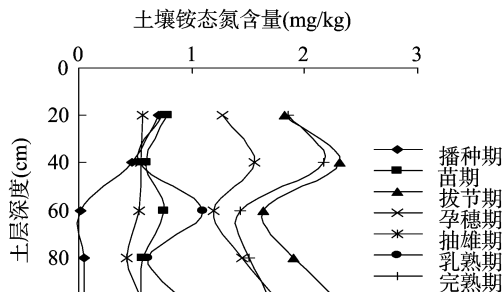


图1 CK处理土壤铵态氮含量的动态变化

从 5 月 14 日(播种)到 6 月 4 日(苗期),属于种子萌发和幼苗阶段,植株生长属于种子营养阶段,从土壤中吸取的养分很有限<sup>[2]</sup>。试验初土壤铵态氮的含量以 0~20 cm 土层最高,20~40 cm 土层次之,40 cm 之下土层的铵态氮含量差异不大。在苗期,随着气温的增加,各层土壤的铵态氮含量都增加,0~20 cm 土层的铵态氮含量仍然为最高,但较试验初仅增加了 0.13 倍,较试验初增幅最大的是 40~60 cm 土层,土壤铵态氮含量增加了 62 倍,60~80 cm 土层增加了 10.5 倍,80~100 cm、100~120 cm 土层分别增加了 9.3、6.8 倍。

与试验初相比,在苗期除 0~40 cm 土层的土壤铵态氮含量微增外,其他各层铵态氮含量突增,而且随着土壤深度的增加增幅逐渐降低。笔者认为主要是由于土壤温度回升导致,土温越高,土壤中铵态氮含量越高<sup>[3]</sup>。

从苗期到拔节期,各层土壤铵态氮含量呈直线上升趋势。40~120 cm 土层铵态氮含量随深度的增加而增加,20~40 cm 土层铵态氮含量较高,可能是由于根系的作用。而表土铵态氮含量较低的原因是铵态氮容易转化为氨气损失掉。

从拔节期到孕穗期,各土层铵态氮含量呈下降趋势。

在抽雄期(7 月 28 日)除 60~80 cm 土层含量最低(0.419 mg/kg)外,温度及作物根系生长作用使各土层铵态氮含量达到类似一致的状态。

从抽雄期到乳熟期,除 20~40 cm 土层的铵态氮含量稍有下降外,其他各层铵态氮含量都呈缓慢上升趋势,但总体上升幅度不大,以 40~60 cm 土层增加幅度最大。

从乳熟期到完熟期,各土层铵态氮含量直线上升<sup>[4]</sup>,20~40 cm 土层铵态氮含量最高,0~20 cm 土层次之,40 cm 土层之下随深度增加,铵态氮含量越高。完熟期根系对土壤

的作用已经降低,试验初期和试验结束时土壤各层铵态氮含量的相关系数为 0.703,铵态氮含量在小于 40 cm 的土层含量都表现较高,差异在于试验结束时 20~40 cm 土层的铵态氮含量超过了表层土含量,可能是因为试验初期冻融后不久,随气温增加,底层土壤中铵态氮含量增加,向上聚集到表层的结果;而收获期气温下降,表土铵态氮含量有所损失,导致 20~40 cm 土层铵态氮含量最高。

### 2.2 FP 处理土壤铵态氮含量的动态变化

由图 2 可见,FP 处理下,经过一个生育期各层土壤铵态氮含量都比试验初有所增加。从播种期到拔节期,各层土壤铵态氮含量都呈上升趋势,苗期上升平稳,苗期到拔节期上升幅度较大,各土层铵态氮含量分布规律与 CK 处理类似,但铵态氮含量累计增加幅度大于 CK 处理,可见施底肥增加了土壤铵态氮含量,但并没改变各层土壤铵态氮变化规律。从拔节期到孕穗期,各层土壤铵态氮含量变化规律发生改变,40 cm 以上土层铵态氮含量继续呈现上升趋势,其他各层铵态氮含量大多持平或下降。追肥导致土壤铵态氮含量最大值推迟到 7 月 16 日出现,而且以 20~40 cm 土层铵态氮含量最高,表土次之<sup>[5]</sup>。从孕穗期到抽雄期,各层土壤铵态氮含量下降迅速,达到除苗期之外的又一个低谷。从抽雄期到完熟期,各层土壤铵态氮含量呈缓慢上升趋势,表层土壤铵态氮含量始终为最高,施肥对土壤铵态氮含量的影响随土层的加深而减弱<sup>[6]</sup>。乳熟期 40~60 cm 土层铵态氮含量较高,可能是由于根系作用所引起<sup>[7]</sup>。

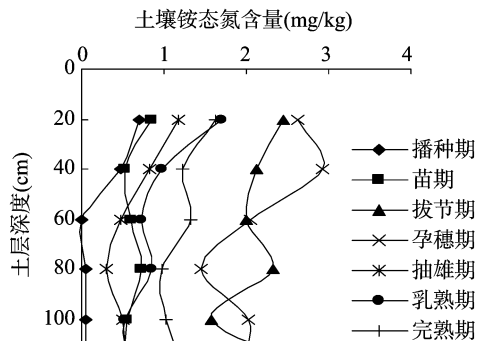


图2 FP处理土壤铵态氮含量的动态变化

### 2.3 OPT 处理土壤铵态氮含量的动态变化

由图 3 可见,OPT 处理下,经过一个生育期各层土壤铵态氮含量都比起始阶段有所增加,增幅与 CK 处理类似。从播种到拔节期,各层土壤铵态氮含量变化规律与 CK 处理类似,但该处理下铵态氮含量累计增幅小于 FP 处理,可见施肥增加了土壤铵态氮含量,而铵态氮含量的增幅随施肥量的增加而增加。从拔节期到孕穗期,各层土壤铵态氮含量变化规律发生改变,奇数层(0~20 cm、40~60 cm、80~100 cm)土壤铵态氮含量下降,而偶数层(20~40 cm、60~80 cm、100~120 cm)土壤铵态氮含量呈上升趋势。抽雄期各层土壤铵态氮含量达到低点,这与其他处理表现相同。从抽雄期到完熟期,各层土壤铵态氮含量增加,但在乳熟期 80~120 cm 土层铵态氮含量增加幅度较大,又形成 1 个峰值,之后下降。

### 2.4 OPTS 处理土壤铵态氮含量的动态变化

2008 年 11 月将该小区秸秆全量还田,在播种期对 OPTS

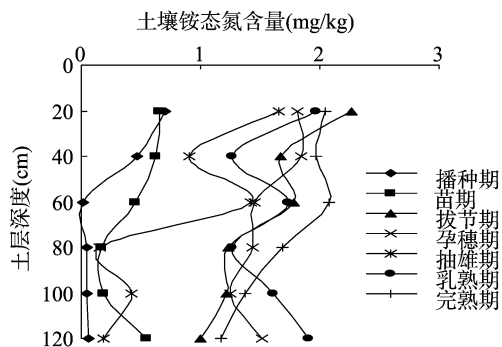


图3 OPT处理土壤铵态氮含量的动态变化

处理的 3 次重复单独取样,试验初各层土壤铵态氮含量都低于无秸秆处理。经过一个种植季后 OPTS 处理的 0~120 cm 土层土壤铵态氮含量较种植前累计增加了 8.98 mg/kg,与 OPT 处理 (8.99 mg/kg) 相差不大。

由图 4 可见,从播种期到拔节期,各层土壤铵态氮含量变化规律与其他处理一致,都呈上升趋势。但 5 月 13 日、6 月 4 日 OPTS 处理与 OPT 处理的各层土壤铵态氮含量的相关系数最低,播种期仅为 0.291,苗期为 0.008,2 个时期各层土壤铵态氮含量累计仅为 2.58 mg/kg,在所有处理中为最低,分别仅为 OPT、FP 处理的 64.5%、50.5%,这明显是由于秸秆还田的作用,秸秆腐熟过程需要更多氮素所导致<sup>[8]</sup>。拔节期各层土壤铵态氮含量累计为 10.46 mg/kg,高于同期 OPT 处理 (9.16 mg/kg)。此时作物已经完全依赖土壤养分生长,而土壤铵态氮得到了充分补充。

秸秆还田影响了土壤铵态氮的分布<sup>[9]</sup>,从拔节期到抽雄期各层土壤铵态氮含量变化规律又发生改变,除 40~60 cm、100~120 cm 土层铵态氮含量下降,其他各层土壤铵态氮含量在孕穗期先上升到抽雄期再下降<sup>[10]</sup>。孕穗期、抽雄期处于追肥结束后,因此 40 cm 以上的浅层土铵态氮含量明显增加,从抽雄期到完熟期各层土壤铵态氮含量上升,表层土含量上升较快。乳熟期 100~120 cm 土层铵态氮含量增加幅度较大,又形成一个峰值,之后下降,整个生育期形成了双峰,这与 OPT 处理的情况相同。

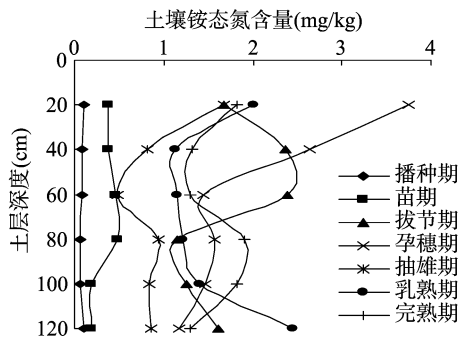


图4 OPTS处理土壤铵态氮含量的动态变化

## 2.5 CRF 处理土壤铵态氮含量的动态变化

考虑到包膜尿素的缓控释性,在播种期将其作为底肥一次性全部施入。由图 5 可见,在整个生育期除 100~120 cm 土层外,越是上层的土壤铵态氮含量变化越明显<sup>[11]</sup>。采收期土壤铵态氮含量比起始阶段有所增加,而且增加幅度高于其他处理,比 FP 处理高 74.3%,比 OPTS 处理高 37.1%。

从播种到拔节期,各层土壤铵态氮含量变化趋势同其他处理,表层土壤铵态氮含量始终为最高,在拔节期达到所有处理的最高水平。从拔节期到孕穗期,0~20 cm 土层铵态氮含量微降,0~20、20~40、40~60 cm 土层铵态氮含量处于较高水平。虽然肥料在试验初被一次性施入,在此阶段没有追肥,但通过铵态氮含量变化可见,施用缓控释肥料有减缓肥料养分释放的作用,而且使高养分状态持续了一段时期<sup>[12]</sup>。从孕穗期到抽雄期,除 100~120 cm 土层外,其他各层铵态氮含量呈下降状态,20~40 cm 土层铵态氮含量下降缓慢,此阶段并没有同其他处理一样到达铵态氮含量的最低点,而是使最低点推迟了 1 个月。从抽雄期到完熟期,20~40、100~120 cm 土层铵态氮含量在乳熟期达到释放的低点,其他各层都与其他大多处理一样有所回升,而小于 40 cm 土层的土壤铵态氮含量始终维持在较高水平,尤其是表层土壤<sup>[13]</sup>。

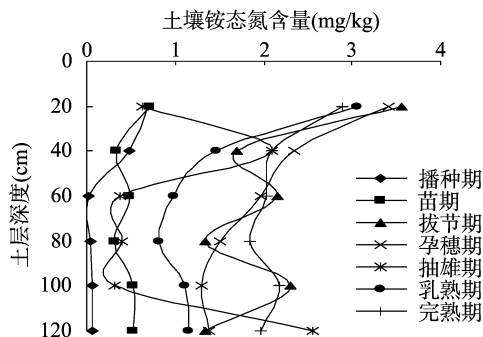


图5 CRF处理土壤铵态氮含量的动态变化

## 3 结论与讨论

CK 处理各土层铵态氮含量随生育期的变化呈相同变化趋势,都呈显著的“N”字型变化。土壤铵态氮含量在 6 月 26 日 (拔节期) 达到最大值,10 月 10 日 (完熟期) 为次高,在 6 月 4 日 (苗期)、7 月 28 日 (抽雄期) 为土壤铵态氮含量的低谷期。笔者认为拔节期前土壤铵态氮含量主要是受气温和土壤温度回升影响,土温越高,土壤铵态氮含量越高;而后期各层土壤铵态氮含量主要是受植株生长影响,呈先降后升趋势。试验初期和试验结束时各层土壤铵态氮含量的相关系数为 0.703,说明土壤自身有缓冲恢复的功能。

外源氮的输入干扰了各层土壤铵态氮含量,CK 处理、农民习惯施肥处理、优化施肥处理、秸秆还田 + 优化施肥处理和缓控施肥处理全生育期各土层铵态氮累计含量分别为 45.2、48.1、47.3、49.5、56.5 mg/kg,可见从施肥量角度,土壤铵态氮含量随施肥量增加而增加,而且施肥对浅层土壤铵态氮含量的影响大于底层土壤。至于在几个处理中出现 100~120 cm 土层土壤铵态氮含量较高或出现双峰现象,没有明显的规律性,可能是因为蚯蚓作用的结果 (土壤剖面分析显示,此层土壤多蚯蚓洞),还有待进一步研究。

比农民习惯施肥处理的施氮量减少 20% 的秸秆还田处理,从播种期到拔节期秸秆腐熟过程会消耗一些氮源,导致土壤铵态氮含量有所下降,但在拔节期后浅层土壤铵态氮含量又迅速提升,以满足作物生长需求。整个生育期各层土壤铵态氮累积含量比农民习惯施肥处理增加了 2.97%。

缓控释肥料的使用达到了养分持续释放的效果,不仅增

万欣,董元华,王辉,等.番茄温室土壤碳氮磷的生态化学计量学特征及其与土壤酶活性的关系[J].江苏农业科学,2013,41(10):281-285.

# 番茄温室土壤碳氮磷的生态化学计量学特征及其与土壤酶活性的关系

万欣<sup>1,2</sup>,董元华<sup>1,2</sup>,王辉<sup>1,2</sup>,李建刚<sup>1,2</sup>,宋丽芬<sup>3</sup>,汪海燕<sup>1,2</sup>

(1.中国科学院南京土壤研究所/中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室,江苏南京 210008; 2.中国科学院研究生院,北京 100049; 3.中国农业大学(烟台)理工学院,山东烟台 264670)

**摘要:**以山东省海阳地区不同种植年限番茄温室土壤为供试材料,探讨土壤碳(C)、氮(N)、磷(P)和速效磷(AP)之间摩尔比以及土壤过氧化氢酶、脲酶和酸性磷酸酶活性的变化规律。结果表明,在种植 1~14 年间, $n(C):n(N)$  整体呈降低趋势,其中 5~14 年间趋于稳定。 $n(C):n(P)$ 、 $n(N):n(P)$ 、 $n(C):n(AP)$  和  $n(N):n(AP)$  在种植 1~8 年期间呈明显降低趋势,且变化速率较快,之后的几年间小幅增加。随着种植年限的增加,土壤过氧化氢酶活性增强,与  $n(N):n(AP)$  的相关性最好;土壤脲酶活性在种植 1~8 年间呈增强趋势,之后开始降低,但与各养分摩尔比间的相关性不显著;酸性磷酸酶活性随种植年限的增加而呈增强并趋于稳定的趋势,与  $n(N):n(AP)$  间相关性最好。由此认为,造成各指标变化的根本原因在于肥料的投入量和施用肥料的种类,尤其是含磷量较高的肥料的施用。

**关键词:**温室土壤;养分;酶活性;摩尔比;生态化学计量学

**中图分类号:** S154.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)10-0281-05

生态化学计量学是近年来新兴的一个生态学研究领域,

收稿日期:2013-03-25

基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项(编号:200903011);中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号:KZCX2-YW-JC405、KSCX2-EW-B-6)。

作者简介:万欣(1983—),女,山东兖州人,博士研究生,主要从事生态调控研究。E-mail:wanxin1983@126.com。

通信作者:董元华。E-mail:yhdong@issas.ac.cn。

加了全生育期各土层的铵态氮累计含量,而且使养分释放的高峰持续 1 个月,满足籽实成熟期养分供应。后期肥料养分能够全部释放出来,并及时向下运移补充,使各层土壤铵态氮含量都高于其他处理。整个生育期各层土壤铵态氮累积含量比农民习惯施肥处理增加了 17.50%。

有研究显示,土壤铵态氮浓度增加对硝化反应速度起抑制作用<sup>[14]</sup>,减氮 20% 的 2 种施肥方式都有效增加了土壤铵态氮含量,尤其是小于 40 cm 土层的铵态氮含量。包膜尿素的施用使铵态氮释放高峰持续 1 个月,更利于被植物吸收利用。

## 参考文献:

- [1]邢素丽,刘孟朝,邢竹.北方褐土区土壤硝态氮运移动态及合理施肥调控[J].中国土壤与肥料,2007(5):15-18,31.
- [2]吴永成,周顺利,王志敏,等.华北地区夏玉米土壤硝态氮的时空动态与残留[J].生态学报,2005,25(7):1620-1625.
- [3]苏涛,王朝辉,李生秀.水温因素与夏玉米生长季节土壤矿质氮动态的关系[J].土壤通报,2011(4):896-901.
- [4]夏海丰,李楠,高玮,等.树脂包膜控释尿素不同用量对玉米产量的影响及其肥效研究[J].吉林农业大学学报,2007,29(5):518-522.
- [5]马春梅,董守坤,张磊,等.大豆生育期间土壤无机态氮与植株

它可以把生态实体的各个层次在元素水平上统一起来,广泛应用于生态学研究<sup>[1-2]</sup>。碳(C)、氮(N)、磷(P)是生物地球化学循环中的重要元素,在生态系统中占有重要地位,因此这 3 种元素的生态化学计量学研究受到生态学家们的普遍关注<sup>[3-4]</sup>。目前,一些学者已经应用生态化学计量学对土壤 C、N 和 P 进行研究。Cleveland 等通过收集世界各地土壤理化性质资料发现,世界范围内土壤中 C、N 和 P 的摩尔比为 186:13:1<sup>[5]</sup>。Tian 等对中国地域内 2 384 个表层土壤样本

硝态氮变化规律的研究[J].土壤通报,2010(4):942-946.

- [6]李莎,高明,李常军,等.氮磷钾配施对土壤氮素累积及烤烟产量品质的影响[J].西南师范大学学报:自然科学版,2007,32(6):104-108.
- [7]王西娜,王朝辉,李生秀.种植玉米与休闲对土壤水分和矿质态氮的影响[J].中国农业科学,2006,39(6):1179-1185.
- [8]高金虎,孙占祥,冯良山,等.秸秆与氮肥配施对辽西旱区土壤酶活性与土壤养分的影响[J].生态环境学报,2012,21(4):677-681.
- [9]赵鹏,陈阜,李莉.秸秆还田对冬小麦农田土壤无机氮和土壤脲酶的影响[J].华北农学报,2010,25(3):165-169.
- [10]杨劲峰,崔红光.不同施肥处理对棕壤无机态氮含量的影响[J].安徽农业科学,2007,35(18):5490-5492.
- [11]李东坡,武志杰,梁成华,等.缓释尿素氮肥在玉米苗期的养分释放特点[J].中国土壤与肥料,2007(1):34-37.
- [12]韩文炎,马立锋,石元值,等.茶树控释氮肥的施用效果与合理施用技术研究[J].植物营养与肥料学报,2007,13(6):1148-1155.
- [13]焦晓光,梁文举.施用控释尿素后土壤尿素氮的转化及其对产量的影响[J].农业系统科学与综合研究,2003,19(4):297-299.
- [14]王改玲,陈德立,李勇.土壤温度、水分和  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度对土壤硝化反应速度及  $\text{N}_2\text{O}$  排放的影响[J].中国生态农业学报,2010,18(1):1-6.