

陶美彤,李悦铭,李旭,等.可降解包膜尿素缓释肥的氮素释放规律及对小白菜生长的影响[J].江苏农业科学,2017,45(15):133-136.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.15.035

# 可降解包膜尿素缓释肥的氮素释放规律 及对小白菜生长的影响

陶美彤<sup>1</sup>,李悦铭<sup>2</sup>,李旭<sup>1</sup>,郭平<sup>1</sup>

(1. 吉林大学环境与资源学院/地下水资源与教育部重点实验室,吉林长春 130012;

2. 中国电力工程顾问集团东北电力设计院有限公司,吉林长春 130021)

**摘要:**采用盆栽试验比较研究了膨润土含量不同的可降解包膜尿素缓释肥的氮素释放规律及对小白菜生长的影响。结果表明,研究  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量在尿素和缓释肥处理中均随时间呈现先增加后减少的趋势,尿素处理分别在 14、21 d 达到最大值,分别为 102.25、30.05 mg/kg,而缓释肥处理分别在 21、28 d 达到最大值,范围分别为 54~60 mg/kg、2~28 mg/kg。与尿素相比,尿素缓释肥具有比较明显的缓释效果,即使在施肥后期土壤中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的含量也较大,满足了小白菜全生长期的营养需求,小白菜各项生长指标明显提高。此外,缓释肥对小白菜的增产效应随着膨润土含量的增加而提高,当膨润土含量为 4.5% 时,小白菜产量最高。

**关键词:**膨润土;小白菜;缓释肥;可降解;产量

**中图分类号:** S634.306<sup>+</sup>.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)15-0133-04

传统氮肥(如尿素)具有利用率低、肥效期短、养分容易淋失、挥发和固定等特点<sup>[1]</sup>。它的大量施用不仅浪费了资源,引发系列环境污染问题,而且破坏了土壤结构,造成土壤板结<sup>[2]</sup>。然而,缓释肥的出现和发展可以有效地解决上述问题。缓释肥能够较好地控制养分释放速度,使氮素利用率由 30%~35% 提高到 60%~70%<sup>[3]</sup>,有利于实现减肥增效目标,被称为“21 世纪的肥料”。

美国在 20 世纪 50 年代就开始研究包膜缓释肥,随后是日本、欧洲等国家<sup>[4]</sup>,至 20 世纪 80 年代包膜缓释肥的研究已经成为国际的热点<sup>[5-6]</sup>。我国于 20 世纪 70 年代开始研究包膜缓释肥,尤其在有机物材料包膜这方面起步较晚,研究水平与美国、日本等国家的差距较大。目前,我国包膜缓释肥的研究主要集中研发包膜材料方面,而且现在的缓释肥所采用的包膜材料以水基聚合物、聚氨酯类和天然高分子等有机材料为主<sup>[7]</sup>。随着土壤污染问题日益严重<sup>[8]</sup>,为了有效地解决由包膜材料难降解引起的土壤环境污染问题,环境友好型可降解包膜材料的研发逐渐引起了国内外学者和科研机构的关注<sup>[9-13]</sup>。沈阳农业大学、安徽农业大学、华东理工大学等都研制出各种生物降解性良好的缓释包膜材料<sup>[14-19]</sup>,而且这些材料主要以淀粉、聚乙烯醇和壳聚糖等可生物降解包膜材料为主。现阶段,国内关于聚合物包膜缓控释肥的释放特性、研

究进展、肥料效应等方面报道较多,但有关可降解的包膜缓控释肥的肥效方面研究较少。土壤中能够被作物直接利用的生物有效态氮主要是  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,其含量会直接影响作物的生长<sup>[20]</sup>。膨润土能强烈吸附尿素和  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ <sup>[21]</sup>,具有吸附性、阳离子交换性、控释作用、保水保肥和改良土壤盐碱性等优良性质,并且还含有植物生长所需的常量元素和微量元素。所以,使用膨润土作为缓释肥的载体,可提高肥料的利用效率,特别是对氮肥的保氮作用明显<sup>[22-23]</sup>。

本研究选择可生物降解的淀粉和聚乙烯醇为主要材料,再选择对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  具有吸附作用、提高缓释效果的膨润土为辅料作为包膜材料,制备成包膜尿素缓释肥。在此基础上,采用盆栽试验研究膨润土含量不同的可降解包膜尿素缓释肥  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的含量随时间的变化特征及其与小白菜生长之间的关系,进而揭示可降解包膜尿素缓释肥的肥效情况,对环境友好型缓释肥在作物上的应用和未来农业上推广具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点与材料

试验于 2015 年 6—7 月在吉林大学地下水资源与教育部重点实验室进行。供试土壤采自吉林大学南校区周边土地的表层土壤。采用鲁如坤的土壤农业化学分析方法测定供试土壤的性质<sup>[24]</sup>。小白菜种子购买于合肥市合丰种业有限公司;天然膨润土购买于天津市光复精细化工研究所。供试土壤基本理化性质见表 1。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 包膜尿素缓释肥的制备** 分别称取 6 g 淀粉、0.06 g 氢氧化钠、4 g 聚乙烯醇和 0.2 g 硼砂,1.5 mL 甲醛和 2.0 mL 甘油充分混合后,再分别按比例添加 0、1.5%、3.0%、4.5%

收稿日期:2017-02-28

基金项目:国家水污染控制与治理重大专项(编号:2014ZX07201010);  
吉林省水文水资源局项目(编号:3R216U961425)。

作者简介:陶美彤(1994—),女,辽宁铁岭人,硕士研究生,主要从事土壤污染与生态修复方面的研究。E-mail: 1049015592@qq.com。

通信作者:郭平,博士,博士生导师,主要从事土壤污染与生态修复方面的研究。E-mail: guoping@jlu.edu.cn。

表 1 供试土壤基本理化性质

项目	数值
有机质(g/kg)	34.32
碱解氮(mg/kg)	20.97
速效磷(mg/kg)	33.98
速效钾(mg/kg)	126.8
阳离子交换量(cmol/kg)	32.64
氧化还原电位(mV)	273 ± 5
电导率(mS/cm)	0.48 ± 0.05
pH 值	7.13 ± 0.03

的膨润土制备成包膜。然后将包膜包在尿素表面,干燥,保存于干燥器中备用。

1.2.2 盆栽试验 选择小白菜盆栽试验。氮肥施用量按比例(土壤:N=1 000:0.3)进行。试验设 6 个处理,将过 2 mm 筛分的干土 1 kg 分别与尿素以及 0、1.5%、3.0%、4.5% 膨润土的可降解包膜尿素缓释肥混匀后装入盆中,以不施肥料为空白对照,每盆播种 10 粒小白菜种子,待长成幼苗后,每盆留 3 株。盆栽试验进行 49 d,每 7 d 浇 1 次水并用流动分析仪测定土壤中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的含量。不栽种小白菜盆作为空白对照,每组重复 3 次。小白菜收获后取地上部分,用直尺测定其叶长、叶宽,洗净吸干表面水分后测定小白菜鲜质量,80 ℃烘干 48 h 后测定干质量,并且按照下面公式计算各指标的生物增长率(T)。

$T = (\text{处理组生物量} - \text{对照组生物量}) / \text{对照组生物量} \times 100\%$ 。

1.3 测定指标及方法

采用 Excel 2007 和 SPSS 数据统计软件,进行鲜质量和干质量的单因素方差分析,鲜质量和干质量、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$  和  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  以及无机氮的双变量相关分析。

2 结果与分析

2.1 包膜尿素缓释肥  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量的变化

2.1.1  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量的变化 膨润土含量不同的可降解包膜尿素缓释肥施入土壤后的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量变化见图 1。从图 1 可以看出,与膨润土含量不同的可降解包膜尿素缓释肥相比,未施肥的空白对照  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量变化十分微小。膨润土含量不同的可降解包膜尿素缓释肥与尿素处理  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量均呈现先增加后减少的趋势,且尿素处理  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量在 14 d 达到最大值 102.25 mg/kg。高峰值过后,尿素处理  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量急剧下降,49 d 后降至 10 mg/kg 以下。可降解包膜尿素缓释肥处理  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量变化较为稳定,在 21 d 时,0、1.5%、3.0%、4.5% 膨润土的可降解包膜尿素缓释肥处理  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量分别为 59.2、57.01、55.99、54.87 mg/kg,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量顺序表现为  $\text{B0} > \text{B1.5\%} > \text{B3.0\%} > \text{B4.5\%}$ , 28 d 起至结束其含量顺序变化为  $\text{B4.5\%} > \text{B3.0\%} > \text{B1.5\%} > \text{B0}$ 。结果表明,在小白菜生长前期可降解包膜尿素缓释肥处理  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量明显低于尿素处理,后期又显著高于尿素处理。表明可降解包膜尿素缓释肥可持续稳定地提供  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ , 满足小白菜全生长期的营养需求,缓释肥对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的缓释效果会随着膨润土含量的增加而增加。

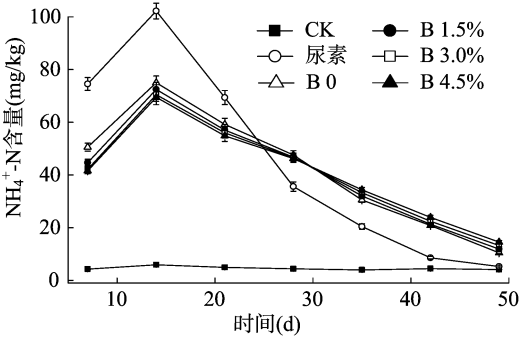


图 1 不同处理土壤中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量变化

2.1.2  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量的变化 膨润土含量不同的可降解包膜尿素缓释肥施入土壤后的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量变化见图 2。未施肥空白对照  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量变化与膨润土含量不同的可降解包膜尿素缓释肥处理的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量变化相似。相对于可降解包膜尿素缓释肥处理的盆栽,尿素处理  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量在小白菜生长前期迅速增加,且 21 d 达到 30.05 mg/kg 的最大值后迅速下降。可降解包膜尿素缓释肥处理在施肥后 21 d 内呈上升趋势,21 ~ 28 d 内变化缓慢,至 28 d 时达到最高,0、1.5%、3.0%、4.5% 膨润土的可降解包膜尿素缓释肥处理  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量分别为 22.92、24.27、25.69、27.45 mg/kg,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量顺序为  $\text{B4.5\%} > \text{B3.0\%} > \text{B1.5\%} > \text{B0}$ , 28 d 后开始下降,但下降趋势缓慢,变化较小。从图 2 可以看出,可降解包膜尿素缓释肥处理的小白菜在整个生长期能够持续稳定地提供  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ , 并且随着包膜中膨润土含量的增加,土壤中  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量也随着增加,尿素处理  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量在小白菜生长前期提供大量的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ , 而后期提供的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  较少。

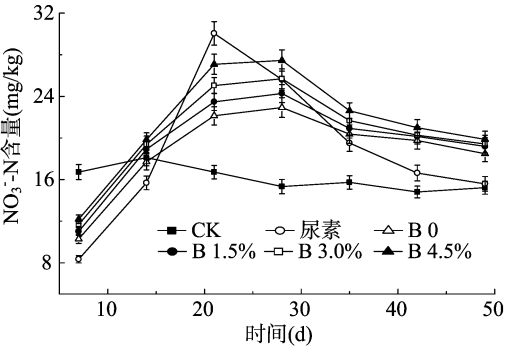


图 2 不同处理土壤中  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量变化

2.2 包膜缓控释肥对小白菜生长发育的影响

2.2.1 包膜缓控释肥对小白菜生长的影响 膨润土含量不同的可降解包膜尿素缓释肥对小白菜叶长、叶宽的影响见表 2。从表 2 可以看出,尿素处理小白菜叶长和叶宽比空白对照增加 7.96% 和 5.84%。添加 0、1.5%、3.0%、4.5% 膨润土的可降解包膜尿素缓释肥处理的小白菜叶长比对照分别增加 21.51%、23.39%、22.90%、21.00%, 小白菜叶宽比对照分别增加 25.77%、30.79%、29.08% 和 28.26%。施用可降解包膜尿素缓释肥后的小白菜叶长和叶宽均明显较对照和尿素处理有所增加。与尿素处理相比,添加膨润土可降解包膜尿素缓释肥的小白菜叶长和叶宽增加明显,这是因为尿素施入土

壤一段时间后期其养分很快释放完全,后期不能为小白菜的生长提供充足的养分,而可降解包膜尿素缓释肥能够满足小白菜整个生长期的营养需求,对小白菜生长具有明显的优势。

表 2 不同类型氮肥对小白菜叶长和叶宽的影响

处理	叶长 (cm)	生物增长率 (%)	叶宽 (cm)	生物增长率 (%)
CK	9.342	—	5.018	—
尿素	10.086	7.96	5.311	5.84
B0	11.351	21.51	6.311	25.77
B1.5%	11.527	23.39	6.563	30.79
B3.0%	11.481	22.90	6.477	29.08
B4.5%	11.304	21.00	6.436	28.26

2.2.2 包膜缓控释肥对小白菜鲜质量、干质量的影响 盆栽试验结果,施用尿素处理的小白菜与对照小白菜的鲜质量和干质量相比,分别增长 9.63%、8.60%,小白菜产量较对照略有增加。施用可降解包膜尿素缓释肥 B0、B1.5%、B3.0%、B4.5% 4 个处理的小白菜鲜质量比对照小白菜的鲜质量分别增加 19.72%、23.53%、24.99%、26.88%,其干质量比对照小白菜分别增加 22.21%、26.53%、30.18%、32.09%。表明施用可降解包膜尿素缓释肥后小白菜叶长和叶宽均明显较对照有所增加,在 4.5% 膨润土的可降解包膜尿素缓释肥处理下小白菜的鲜质量和干质量分别较对照增加 26.88%、32.09%,达到了明显的增产效果。与尿素相比,可降解包膜尿素缓释肥能够大幅度提高小白菜的鲜质量和干质量,且小白菜的鲜质量和干质量随着包膜中膨润土含量的增加而增加。因为包膜中添加适量膨润土能强烈吸附尿素和  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ,并且具有控释作用和保水保肥效果,可以提高养分的利用率,从而提高小白菜的产量。当包膜中膨润土加入量为 4.5% 时,小白菜的鲜质量和干质量增加最大。所以从小白菜的产量角度考虑,包膜中膨润土最适加入量为 4.5%。

2.2.3 方差分析 膨润土含量不同的可降解包膜尿素缓释肥对小白菜鲜质量和干质量的单因素方差分析结果见表 4、表 5。从表 4、表 5 可以看出,鲜质量和干质量的组间平方和分别为 2.531、0.012,组内平方和分别为 0.003、0,其中组间平方和的  $F$  值分别为 1 057.385、677.556,相应的概率值均为 0,小于显著水平 0.05。结果表明,施用可降解包膜尿素缓释肥对小白菜的鲜质量和干质量有显著的影响。组间变异被施

表 3 不同类型氮肥对小白菜鲜质量和干质量的影响

处理	鲜质量 (g)	生物增长率 (%)	干质量 (g)	生物增长率 (%)
CK	8.207	—	0.418	—
尿素	8.997	9.63	0.454	8.60
B0	9.825	19.72	0.511	22.21
B1.5%	10.138	23.53	0.529	26.53
B3.0%	10.258	24.99	0.544	30.18
B4.5%	10.413	26.88	0.552	32.09

表 4 小白菜鲜质量单因素方差分析

鲜质量	平方和	自由度	均方	$F$ 值	显著性
组间(组合)	2.531	4	0.633	1 057.385	0.000
线性项对比	2.131	1	2.131	3 561.818	0.000
偏差	0.400	3	0.133	222.573	0.000
组内	0.003	5	0.001		
总数	2.534	9			

表 5 小白菜干质量的单因素方差分析

干质量	平方和	自由度	均方	$F$ 值	显著性
组间(组合)	0.012	4	0.003	677.556	0.000
线性项对比	0.010	1	0.010	2 330.711	0.000
偏差	0.002	3	0.001	126.504	0.000
组内	0.000	5	0.000		
总数	0.012	9			

肥类型所能解释的部分分别为 2.131、0.010,被其他因素解释的分别为 0.400、0.002,并且组间变异被所施用的氮肥类型所能解释的部分十分显著。表明施肥类型对小白菜鲜质量和干质量的影响非常显著,并且直接影响其产量。

2.2.4 双变量相关分析 小白菜鲜质量和干质量与  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、无机氮的双变量相关分析结果见表 6、表 7、表 8。从表中可以看出,小白菜鲜质量与  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、无机氮之间的 Pearson 相关系数分别为 0.973、0.972 和 0.974,干质量与  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、无机氮之间的 Pearson 相关系数分别为 0.989、0.986 和 0.990,各显著性水平均在 0.001 以上,表明小白菜鲜质量和干质量与  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、无机氮之间均存在正相关。因此,可以得出,小白菜鲜质量和干质量与  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、无机氮之间均存在显著相关关系,小白菜产量与三者密切相关。

表 6 小白菜鲜质量和干质量与  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的双变量相关分析

鲜质量	项目	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	鲜质量	干质量	项目	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	干质量
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	P	1	0.973	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	P	1	0.989
	X		0.001		X		0.000
鲜质量	P	0.973	1	干质量	P	0.989	1
	X	0.001			X	0.000	

注:P 为 Pearson 相关性;X 为显著性(双侧),表 7、表 8 同。

表 7 小白菜鲜质量和干质量与  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的双变量相关分析

鲜质量	项目	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	鲜质量	干质量	项目	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	干质量
$\text{NO}_3^- - \text{N}$	P	1	0.972	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	P	1	0.986
	X		0.001		X		0.000
鲜质量	P	0.972	1	干质量	P	0.986	1
	X	0.001			X	0.000	

表 8 小白菜鲜质量和干质量与无机氮的双变量相关分析

鲜质量	项目	无机氮	鲜质量	干质量	项目	无机氮	干质量
无机氮	P	1	0.974	无机氮	P	1	0.990
	X		0.001		X		0.000
鲜质量	P	0.974	1	干质量	P	0.990	1
	X	0.001			X	0.000	

3 结论

尿素和可降解包膜尿素缓释肥对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  具有相同的释放规律,均是随时间的增加呈现先增加后减少的趋势,但是它们的最大值及其出现最大值的时间不同。尿素处理  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量分别在 14、21 d 达到最大值 102.25、30.05 mg/kg,而缓释肥处理分别在 21、28 d 达到最大范围 54~60 mg/kg、2~28 mg/kg。

与尿素相比,包膜尿素缓释肥能够在小白菜全生长期内为其提供  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 。包膜尿素缓释肥对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的缓释效果随着膨润土含量的增加而提高。与尿素处理相比,添加膨润土的可降解包膜尿素缓释肥处理小白菜的叶长、叶宽、鲜质量和干质量分别增加 12%~15%、18%~22%、9%~16%、12%~22%。因为缓释肥满足了小白菜全生长期的营养需求,促进小白菜各项生长指标明显提高。此外,缓释肥对小白菜的增产效应随着膨润土含量的增加而增加,当膨润土含量为 4.5% 时,小白菜产量最高。

参考文献:

[1]王 亮,秦玉波,于阁杰,等. 新型缓控释肥的研究现状及展望[J]. 吉林农业科学,2008,33(4):38-42.

[2]Li W W, Huang C C, Xie H X, et al. Study on the release property of Nitrogen in sustained-release fertilizer with carrier of bentonite [C]//Third International Conference on Intelligent System Design and Engineering Applications. IEEE Computer Society, 2013:1364-1367.

[3]廖 松,樊小林,贺训平. 包膜控释尿素保肥供肥效果及其机理的研究[J]. 西北农林科技大学学报,2001,29(6):13-17.

[4]靳莹莹,孙瑞峰,苏 聃,等. 包膜型缓控释肥料的国内外研究概况[J]. 蔬菜,2016(9):40-44.

[5]樊小林,廖宗文. 控释肥料与平衡施肥和提高肥料利用率[J]. 植物营养与肥料学报,1998,4(3):219-223.

[6]林 葆,李家康,金继运. 中国肥料的跨世纪展望[C]//植物保护与植物营养研究进展. 北京:中国农业出版社,1999:453-457.

[7]王兴刚,吕少瑜,冯 晨,等. 包膜型多功能缓/控释肥料的研究现状及进展[J]. 高分子通报,2016(7):9-22.

[8]吴 平,谷树忠. 我国土壤污染现状及综合防治对策建议[J]. 发展研究,2014(4):8-11.

[9]Salman O A. Polyethylene-coated urea. 1. Improved storage and

handling properties [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 1989, 28(5):630-632.

[10]Tzika M, Alexandridou S, Kiparissides C. Evaluation of the morphological and release characteristics of coated fertilizer granules produced in a Wurster fluidized bed[J]. Powder Technology, 2003, 132(1):16-24.

[11]Wu L, Liu M Z. Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention [J]. Bioresource Technology, 2008, 72(2):240-247.

[12]Ni B L, Lu S Y, Liu M Z. Novel multinutrient fertilizer and its effect on slow release, water holding, and soil amending[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2012, 51(40):12993-13000.

[13]Majeed Z, Ramli N K, Mansor N, et al. Starch biodegradation in a lignin modified slow release fertilize; effect of thickness[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 625:830-833.

[14]邹洪涛,张玉龙,黄 毅,等. 不同膜质材料制成包膜肥料对抑制氮素挥发效果的研究[J]. 土壤通报,2006,37(3):519-521.

[15]于 洋,邹洪涛,王 剑,等. 肥料用改性聚乙烯醇包覆膜的制备及其性能的研究[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(5):1286-1292.

[16]张红雨,刘媛媛,唐双凌,等. 非水溶性材料包膜尿素缓释肥的养分释放特性及其对小青菜产量的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(3):519-523.

[17]Ye Y, He F, Zhnag X Y, et al. A gis-based study on suitability estimation of tea cultivation in Qimen county [J]. Agricultural Science & Technology, 2011, 12(1):149-152.

[18]陈 强,张文清,吕伟娇,等. 可生物降解的壳聚糖肥料包膜材料的研究[J]. 高分子材料科学与工程,2005,21(3):290-293.

[19]景旭东,林海琳,阎 杰. 新型缓释/控释肥包膜材料的研究与展望[J]. 安徽农业科学,2015,43(2):139-141.

[20]周 锦. 土壤中氮含量的测定分析[J]. 农业科技与信息,2008(15):40-41.

[21]丁述理,刘钦甫. 蒙脱石作为尿素缓释基质的试验研究[J]. 矿物学报,1998,19(1):67-71.

[22]王文婷,王云海. 膨润土改良土壤技术的研究进展[J]. 环境科技,2011,24(1):66-68.

[23]周红军,周新华,吴树鸿. 毒死蜱/改性膨润土/海藻酸钠复合微球的制备及其缓释性能[J]. 江苏农业科学,2015,43(1):150-152.

[24]鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2000.