

水分对微水溶性胶结包膜肥料氮素释放的影响及其生物学效果研究

肖 强,王甲辰,左 强,张 琳,刘宝存,赵同科,邹国元
(北京市农林科学院植物营养与资源研究所,北京 100097)

摘 要: 采用水基成膜法研制出低成本、易降解的微水溶性胶结包膜缓释肥料。应用性能测试、不同田间持水量下土壤培养及小白菜盆栽试验研究了其养分释放规律与生物学效应,试验表明:微水溶性包膜材料致密、整体厚薄较均一,其吸水性、透水性能优良,且具有一定的生物降解性能。在田间持水量 50%、60%、70% 条件下,微水溶性胶结包膜缓释肥料土壤铵态氮含量变化与水分呈正相关关系,24 d 后硝态氮含量呈高于尿素处理趋势。在田间持水量 50%、60%、70% 三种水分条件下,微水溶性胶结包膜肥料处理油菜产量均高于尿素处理,在 70% 田间持水量下达到了显著差异 ($P<0.05$);微水溶性胶结包膜肥料处理增加了 Vc 含量,但没有显著增加油菜含氮量、硝酸盐含量和叶绿素含量。

关键词: 微水溶性;胶结包膜肥料;水基成膜法;研制;评价
中图分类号: **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)06-0001-06

目前世界上氮肥的当季利用率较低 ($<50\%$)^[1],损失的肥料绝大部分经淋溶随水进入地下和江河,不仅造成了巨大的经济损失,还造成了大气层、水体、土壤等环境污染。为了解决现有化肥养分利用率低的问题,人们开始研制缓控释肥料。缓控释肥料是通过缓释和控释技术,使肥料氮素缓慢释放达到与作物需肥规律相接近程度的一类肥料,它能显著提高氮素利用率,增加作物产量^[2,3],但是也存在一定的缺点。包膜肥料是目前缓控释肥料的主要品种,其缺点是成本高、包膜材料难降解,施入土壤易造成二次污染,主要原因是采用了有机材料作溶剂与包膜材料、利用耗能大的设备进行研制^[4]。为了突破包膜肥料研制和应用中的瓶颈问题,本文采用水基成膜法来研制胶结包膜肥料^[5,6]。水基成膜法是以水为溶剂,通过对材料的筛选与配伍,采用物理、化学改性技术,利用圆盘造粒机制造包膜肥料。利用这种方法研制成的肥料成本低、筛选的材料可生物降解、所需设备简单,如果在缓控释效果上进行进一步提升的话,其推广应用前景巨大。目前国内外采用此种方法进行肥料研制的鲜见报道,由于采用水基成膜法水分因素非常重要,因此,本文采用此法研制了一种新型的微水溶性胶结包膜肥料,并对其进行了性质检测,研究了水分因素对其养分释放的影响及生物学效果。

1 材料与方法

1.1 主要原料

羧甲基壳聚糖,脱乙酰度为 94%,将羧甲基壳聚糖溶于 50℃ 的水中,配制成 4% 的羧甲基壳聚糖溶液;PVA;聚合度 1700,醇解度 50%;其余试剂均为化学纯。

1.2 膜的制备

按固体含量 10%,在装有搅拌器、冷凝器、温度计的三口烧瓶中加入一定量的 PVA,在搅拌下升温到 90℃~95℃,之后降温到 25℃,依次加入羧甲基壳聚糖水溶液、水,滴加渗透剂和交联剂,搅拌反应 1 h,减压脱气,在玻璃或钢板上流延成膜,在 110℃ 干燥 15~20 min,揭膜检测相关指标。

1.3 微水溶性胶结包膜肥料的制备

以大颗粒尿素为原料,风化为填料,通过加入胶结与包膜材料(3%用量),采用圆盘造粒机制备微水溶性胶结包膜肥料,肥料快速烘干机 60℃ 烘干。产品含纯 N 23%。

1.4 包膜材料与肥料测试与表征

1.4.1 膜超微结构观察 以电子显微镜观察最后制得的膜材料和包膜肥料的表面形态,放大倍数为 250 倍。

1.4.2 耐水性能测试 参照 GB1034—70 标准进

行,取 10 cm×10 cm 的方块薄膜,于(105±3)℃干燥 1 h,称量,浸入(25±2)℃蒸馏水 24 h,用滤纸吸干表面,称量。每个样品取 3~5 块膜为一组,取平均值。 $W=(G_2-G_1)/G_1$ 。其中, W 为吸水率; G_1 为膜的干重量; G_2 为膜的湿重量^[7]。

1.4.3 透水性能测试 用膜密封盛有变色硅胶的测试杯,根据 24 h 变色硅胶的质量变化,计算膜的透水率,测定条件为(25±2)℃,相对湿度为 99%。每个样品取 3 块膜为一组,取平均值。 $H=(G_2-G_1)/t \cdot S$ 。其中, H 为透水率; G_1 为透水前硅胶重(g); G_2 为透水后硅胶重(g); Δt 为时间变化; S 为测试杯的开口面积(m²)^[7]。

1.5 不同土壤田间持水量下微水溶性胶结包膜肥料氮素释放规律

试验土壤为褐潮土,耕层土壤有机质含量为 10.15 g/kg,全氮为 0.75 g/kg,碱解氮为 41.2 mg/kg,有效磷 6.1 mg/kg,有效钾 43.2 mg/kg。土壤水分控制为田间持水量(θ_f)的 50%、60%、70%。称取 500 g 风干土放入塑料瓶中,加水至各水分处理,密封 1 d,使土壤充分吸水,然后再混匀土壤,密封放置 1 d。之后称取含 0.8 gN(W 为 3.478 g, N 为 1.739 g)的肥料放入尼龙袋中,加入少量上述土壤,将整个尼龙袋放入塑料瓶中,25℃ 下培养。取样时间为 1、2、4、7、12、16、24、30 d,3 次重复。测定指标为土壤硝态氮和铵态氮。

1.6 小油菜盆栽试验

采取上述供试土壤,试验作物为小油菜(京油 7 号,生育期 45 d)。磷钾肥(过磷酸钙与硫酸钾)作底肥一次性施入,分氮肥和水分两种处理,各为 3 个水平。具体如下:(1)CK, 50% θ_f ; 不施氮肥,土壤水分控制为田间持水量的 50%;(2)CK, 60% θ_f ; 不施氮肥,土壤水分控制为田间持水量的 60%;(3)CK, 70% θ_f ; 不施氮肥,土壤水分控制为田间持水量的 70%;(4)N+50% θ_f ; 施用尿素,土壤水分控制为田间持水量的 50%;(5)N+60% θ_f ; 施用尿素,土壤水分控制为田间持水量的 60%;(6)N+70% θ_f ; 施用尿素,土壤水分控制为田间持水量的 70%;(7)W+50% θ_f ; 施用微水溶性胶结包膜肥料,土壤水分控制为田间持水量的 50%;(8)W+60% θ_f ; 施用微水溶性胶结包膜肥料,土壤水分控制为田间持水量的 60%;(9)W+70% θ_f ; 施用微水溶性胶结包膜肥料,土壤水分控制为田间持水量的 70%。施肥处理施肥量相同(0.2 g/kg)。盆栽试验用塑料盆高 12 cm,上沿内径 9 cm,下沿内径 6 cm,装土高 9 cm。试验

步骤是先装 200 g 风干土,将 750 g 风干土与磷钾混匀后装入盆中,将两边压实,浇水,渗入后均匀撒一薄层种子,铺 50 g 左右风干土,覆膜。出苗前保持所有处理土壤含水量都为 70%,苗长到 2 cm 之后,根据不同水分处理浇入对应的水量,入渗后,放氮素肥料。每次浇水前称盆重,根据前后盆重差异确定浇水量,5 次重复。测定指标:苗期、成熟期测定叶绿素含量;收获期测定植株重量、氮含量、Vc 和硝酸盐含量。

2 结果分析

2.1 包膜材料、肥料测试与表征

2.1.1 包膜表征 通过电镜观察可看出(图 1),包膜材料透明,表面光滑无缝、致密,虽略有凸起,但整体厚薄较均一,能起到一定的包膜材料的作用。通过对全颗粒肥料比较可看出(图 2),未包膜肥料(图 2 左)表面粗糙不平、裂隙较大;包膜肥料(图 2 右)表面明显覆有一层薄膜,光滑略有油性,微孔与裂隙显著减少。通过剖面结构可看出(图 3),尿素已与复植酸融合,期间可能存在一定的分子键的连接。包膜肥料由于有膜的存在,剖面呈圪性,非包膜肥料表面光亮,孔隙较大。通过对材料和肥料的表现观察可看出,包膜肥料与未包膜肥料表现上具有显著区别,膜材料可包覆于肥料颗粒表面。

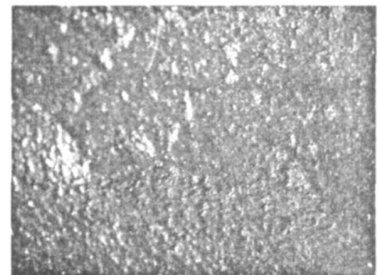


图 1 包膜材料

Fig. 1 Coated material

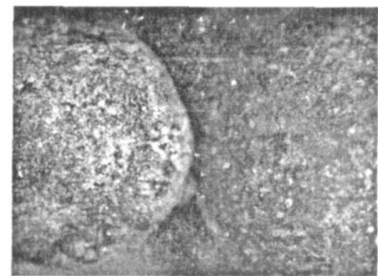


图 2 未包膜与包膜肥料表现对比

Fig. 2 Apparent comparison between common fertilizer and coated fertilizer

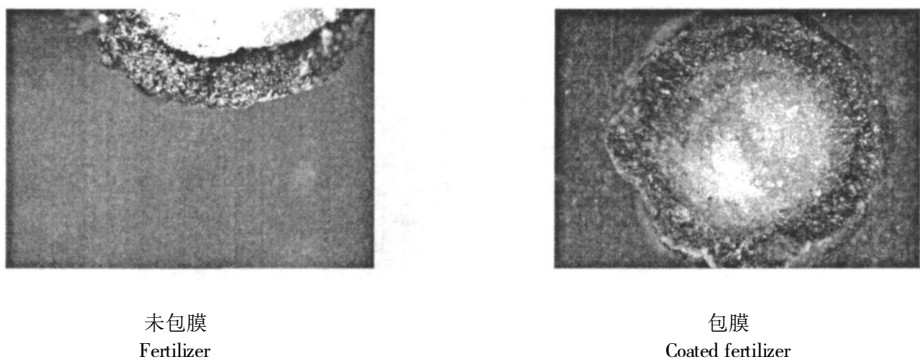


图 3 未包膜与包膜肥料剖面结构对比

Fig. 3 Profile structure comparison of common fertilizer and coated fertilizer

2.1.2 耐水性能分析 微水溶性胶结包膜材料具有一定的吸水性和保水性。通过表 1 可看出,此种膜材料在 24 h 内吸水率为 126.48%,吸水性能优良。如果遇到雨水,可充分将其吸附,在一定程度上可提高水的利用效率^[7,8]。

表 1 耐水性能测试

Table 1 Water resistance performance test				
重复 Replicates	膜干重(g) Dry weight	膜湿重(g) Wet weight	吸水率(%) Water absorption	均值(%) Mean
1	0.423	0.89	110.40	—
2	0.696	1.73	148.56	126.48
3	0.381	0.84	120.47	—

2.1.3 透水性能分析 微水溶性胶结包膜材料透水性能体现的是水蒸气进入膜内溶解内部养分的速度。从表 2 可看出,其透水率为 27.52 g/(m²·h),具有一定的透水性能。膜材料的这种性质可使水蒸汽缓慢溶解养分,使养分缓慢溶出^[8~10]。

表 2 透水性能测试

Table 2 Water permeability performance test				
重复 Replicates	透水前 硅胶重(g) Silica gel weight before permeability	透水后 硅胶重(g) Silica gel weight after permeability	透水率 [g/(m ² ·h)] Pemeability rate	均值 [g/(m ² ·h)] Mean
1	35.99	37.04	27.52	—
2	36.41	37.47	27.78	27.52
3	34.30	35.34	27.26	—

2.1.4 降解性能分析 采用室内土壤掩埋法研究膜材料的生物降解性能,从表 3 可看出,在 25 d 内膜已分解 12.06%,说明此种膜材料在一定程度上属于生物可降解材料^[11]。

表 3 膜材料降解试验

Table 3 Degradation experiment of membrane material				
重复 Replicates	0 d	25 d	降解率(%) Degradable rate	降解率均值(%) Mean
1	0.210	0.175	12.29	—
2	0.274	0.228	12.63	12.06
3	0.191	0.161	11.26	—

2.2 不同田间持水量下尿素与微水溶性肥养分释放规律

微水溶性胶结包膜肥料是采用水基成膜法研制而成,养分释放受水分因素影响较大,因此,有必要研究其在不同田间持水量条件下的养分释放规律。从图 4 可看出,在田间持水量 50%和 60%条件下,尿素处理的铵态氮整个培养期间基本都高于微水溶性胶结包膜肥料处理,说明尿素处理铵态氮溶出得较快,使土壤一直处于较高的铵态氮水平。尿素处理下铵态氮含量的变化没有表现出与水分的相关关系;微水溶性胶结包膜肥料处理下铵态氮含量与田间持水量表现出一定的正相关趋势,说明水分是影响微水溶性胶结包膜肥料养分溶出的一个主要因素,微水溶性特点已基本体现。与铵态氮的变化不同,在培养期的前 16 d,尿素处理三种田间持水量水平下的硝态氮含量基本都高于微水溶性胶结包膜处理(图 5),16 d 之后微水溶性胶结包膜处理硝态氮含量呈高于尿素处理趋势,至第 30 d 时 70%田间持水量下的硝态氮达到最大。说明微水溶性胶结包膜养分释放与尿素相比具有显著的缓释性能,中后期供应硝态氮充足。尿素处理 70%田间持水量下土壤硝态氮中后期处于较低水平,与铵态氮情况相似,说明此水分条件下尿素处理养分无效化程度较大。

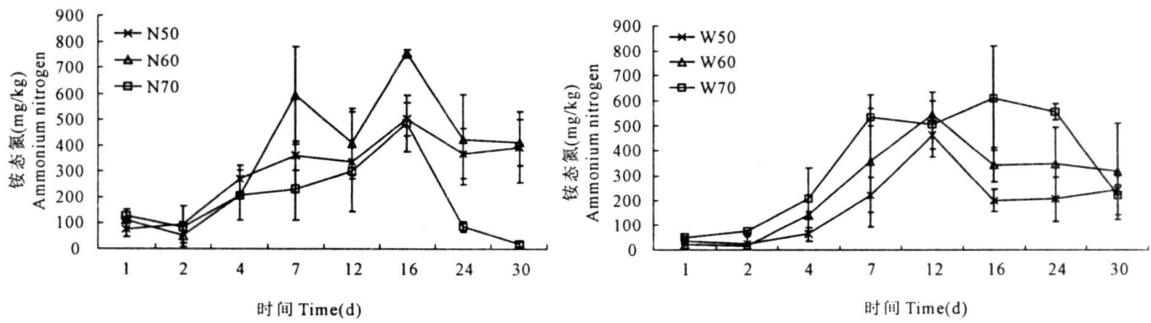


图 4 不同肥料与田间持水量处理下土壤铵态氮随时间变化

Fig.4 Soil ammonium nitrogen change with time for different fertilizer and field capacity treatments

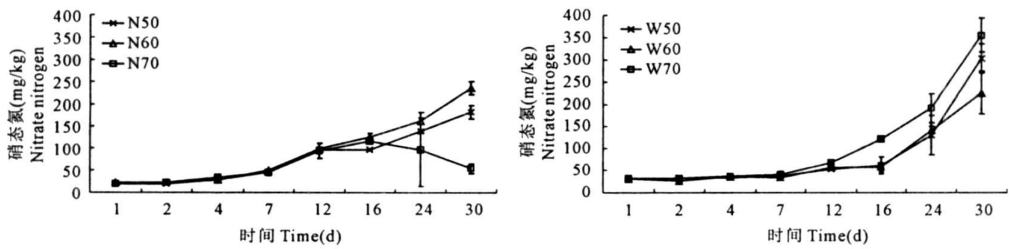


图 5 不同肥料与田间持水量下土壤硝态氮随时间变化

Fig.5 Soil nitrate nitrogen change with time for different fertilizer and field capacity treatments

另外,对比铵态氮和硝态氮变化的不同,培养前期尿素处理铵态氮和硝态氮含量都高于微水溶性胶结包膜处理,中后期 70%田间持水量下微水溶性胶结包膜处理铵态氮含量高于尿素处理,而硝态氮含量三种田间持水量下都呈高于尿素处理趋势,说明微水溶性胶结包膜处理养分释放缓慢,氮素转化率高,挥发损失的氮素较少;而尿素释放较快,养分无效化较大。

2.3 油菜盆栽试验

2.3.1 生物量比较 从油菜鲜重数据可看出,施肥处理油菜产量显著高于未施肥处理。微水溶性胶结包膜肥料处理油菜产量高于尿素处理,其中 70%田间持水量下差异达到了显著水平。说明在 70%田间持水量下微水溶性胶结包膜肥料与尿素相比具有显著的增产作用,在 50%和 60%田间持水量下具有明显的增产趋势。微水溶性胶结包膜肥料在田间持水量 50%情况下油菜产量与尿素处理田间持水量 60%和 70%条件下油菜产量的差异小于尿素处理 50%田间持水量下油菜产量与田间持水量 60%和 70%油菜产量的差异;这一结论同样适用于微水溶性胶结包膜肥料在田间持水量 60%条件下油菜产量与尿素处理田间持水量 70%油菜产量的比较,说明如果在获得相同油菜产量的情况下,微水溶性胶结包膜肥料与尿素相比应具有一定的节水趋势。

表 4 油菜鲜重与氮含量

Table 4 Fresh weight and nitrogen content of spring rape

处理 Treatment	鲜重(g/棵) Fresh weight (g/plant)	含氮量(%) Nitrogen concentration	吸氮量(mg/棵) Nitrogen content (mg/plant)
CK, 70% θ_f	11.70±0.83 ab	2.41±0.04 a	25.14±0.45 a
CK, 60% θ_f	11.58±1.02 ab	2.91±0.13 bc	32.68±1.46 b
CK, 50% θ_f	10.87±0.64 a	2.67±0.11 ac	29.60±1.24 ab
N+70% θ_f	23.77±3.28 c	4.15±0.03 de	73.90±0.51 cf
N+60% θ_f	19.18±1.76 d	4.21±0.17 de	64.61±2.65 de
N+50% θ_f	13.74±1.98 be	4.49±0.18 d	60.71±2.38 d
W+70% θ_f	27.29±1.85 f	3.95±0.27 e	78.96±5.34 f
W+60% θ_f	19.79±2.77 d	4.09±0.31 e	67.51±5.18 ce
W+50% θ_f	16.03±1.49 e	4.25±0.08 de	60.86±1.14 d

注: $P<0.05$ 显著水平, 以下同。

Note: $P<0.05$ significant level, same as follows.

2.3.2 油菜含氮量与吸氮量分析 施肥处理油菜含氮量显著高于不施肥处理。相同施肥处理下,油菜含氮量与田间持水量呈显著负相关关系,不同田间持水量下油菜含氮量差异不显著。相同田间持水量下尿素处理与微水溶性胶结包膜肥料处理含氮量差异不显著。说明微水溶性胶结包膜肥料虽然增加了油菜鲜重,但没有显著增加油菜氮含量。而油菜吸氮量与田间持水量呈显著正相关关系。相同水分处理下,微水溶性胶结包膜肥料处理吸氮量高于尿素处理,但差异不显著。说明微水溶性胶结包膜肥

料具有一定的缓释性,在吸收相同氮量的情况下,可能需要的水要少于尿素。

表 5 不同处理油菜硝酸盐、Vc 与叶绿素含量

Table 5 Content of nitrate, Vc and chlorophyll of spring rape under different treatments

处理 Treatment	硝酸盐(mg/kg) Nitrate	Vc(mg/100 g)	叶绿素(SPAD-501) Chlorophyll SPAD value
CK, 70% θ_j	2548±581 a	81.71±14.4 a	40.44±2.83 a
CK, 60% θ_j	2519±77 a	84.29±14.24 a	40.42±1.57 a
CK, 50% θ_j	2544±478 a	82.44±3.34 a	41.72±2.03 ac
N+70% θ_j	2175±113 a	57.28±5.01 bc	42.22±1.08 ad
N+60% θ_j	2375±128 ac	57.41±0.83 bc	44.18±1.22 bcd
N+50% θ_j	2914±246 bc	70.59±5.61 ac	47.08±3.19 b
W+70% θ_j	2626±143 abc	62.85±1.95 bc	45±4.25 bcd
W+60% θ_j	3024±291 bc	63.49±9.17 bc	45.84±4.23 bd
W+50% θ_j	3090±277 b	71.82±1.58 ac	47.5±3.21 b

2.3.3 油菜硝酸盐比较 硝酸盐含量是衡量叶菜类蔬菜食用品质的重要指标之一^[7],硝态氮易转化为亚硝态氮危害人体健康。因此,施肥的标准是在增产的条件下不增加或减少硝态氮的含量。从各个处理可看出,油菜硝酸盐含量都较高。对比不同处理油菜硝酸盐含量,除微水溶性胶结包膜肥料在田间持水量 50%和 60%水平和尿素处理田间持水量 50%下硝酸盐含量显著高于其它处理外,其他处理硝酸盐含量差异不显著。同一施肥处理硝酸盐含量与土壤含水量呈显著负相关关系,这与王朝辉^[8]等人的研究结果相矛盾,其原因有待进一步分析。在同一田间持水量条件下,微水溶性胶结包膜肥料虽然比不施肥和尿素处理增产,但没有显著增加白菜硝酸盐含量。说明微水溶性胶结包膜肥料能起到一定的氮素缓释作用,在获得相同产量情况下具有降低蔬菜硝酸盐的趋势。

2.3.4 油菜 Vc 比较 从不同处理油菜 Vc 含量看出,不施肥处理油菜 Vc 含量最高,田间持水量 50%条件下氮素处理和微水溶性胶结包膜肥料处理其次,二者与不施肥处理差异不显著。施肥处理不同田间持水量下 Vc 含量差异均不显著,相同施肥处理 Vc 含量与土壤含水量呈显著负相关关系,可能是水分稀释了 Vc 含量,其原因有待进一步分析。相同田间持水量下微水溶性胶结包膜肥料处理 Vc 含量高于尿素处理。说明微水溶性胶结包膜肥料与尿素相比具有提高油菜 Vc 含量的趋势。

2.3.5 油菜叶绿素比较 在相同田间持水量下施

肥处理叶绿素含量高于未施肥处理,其中微水溶性胶结包膜肥料处理最高,与未施肥处理达到显著差异,与尿素处理未达到显著差异;在同一处理不同田间持水量水平下,叶绿素含量与田间持水量呈显著负相关关系。

3 讨 论

采用水基成膜法研制微水溶性胶结包膜肥料,关键是胶结、包膜材料和胶结包膜工艺。采用的基本原理是:(1) 水性生态材料(直接或通过改性能溶于水的且易被生物降解的材料暂将其定义为水性生态材料)作为胶结和包膜材料,其优点是环境友好且具有一定的水溶性和胶粘性,如果加以改性作为包膜材料,则研制的包膜肥料既具有一定的水溶性质,又具有一定的缓释作用,同时价格低廉。本文研制的包膜材料原料之一为 PVA 和壳聚糖。一般认为,聚合度对 PVA 生物降解性的影响大于醇解度对其生物降解性的影响。PVA 的聚合度较低时,醇解度较高的样品易被微生物降解;而高醇解度高聚合度的 PVA 样品则不易被降解。刘白玲研究得出:聚合度为 1700 系列,醇解度为 88%的产品生物降解性最好,7 d 降解 40%。本包膜材料由于选用的 PVA 为 1750 产品,因此具有一定的生物降解性^[12]。陈强利用壳聚糖研制包膜材料得出,膜如果均匀、光滑,透水率在 13.7 g/(m²·h)左右,即可以达到很好的缓释效果。本文研制的包膜材料表面光滑、均匀,透水率为 27.52 g/(m²·h),证明在一定的水分影响下,可以达到一定的缓释效果^[7]。(2) 胶结和包膜工艺:胶结工艺是将氮、磷、钾化肥粉碎并混合均匀,利用胶结材料通过圆盘造粒使之重新成粒。胶结机理是根据锚固(anchoring)效果和扩散作用^[5],使得胶结成粒的肥料在水分影响下养分释放也具有一定的缓释性,缓释性的程度与胶结材料的性质(韧性、粘性和抗张强度等)、造粒设备和反应前后的条件有关^[5]。包膜工艺则是利用包膜材料对胶结成粒的肥料进行包膜,包膜材料具有一定的胶粘性、水溶性和膨胀性,遇水可略微膨胀,出现细孔但不裂解,有利养分缓慢溶出。因此,通过调节胶结和包膜材料的性质,就能够研制出这种既具有一定的养分缓释效果,又具有一定的水溶性质、廉价、环境友好的微水溶性胶结包膜肥料。当然,目前这种肥料养分缓释效果和微水溶性质还不理想,如果假以时日进行进一步研究,采用水基成膜法研制理想的微水溶性胶结包膜肥料将成为现实。

参 考 文 献:

[1] 王红飞,王正辉.缓/控释肥料的新进展及特性评价[J].广东化工,2005,(8):86—90,15.

[2] 谢银旦,杨相东,曹一平.包膜控释肥料在土壤中养分释放特性的测试方法与评价[J].植物营养与肥料学报,2007,13(3):491—497.

[3] 王向峰,刘树庆,宁国辉.缓控释肥料的氮素利用率及控制效果研究[J].华北农学报,2006,21(增刊):38—41.

[4] 龙继锐,马国辉,周 静,等.中国缓/控释肥料的研发现状及展望[J].作物研究,2006,(5):514—521.

[5] 肖 强,张夫道,王玉军,等.纳米材料胶结包膜型缓/控释肥料的特性及对作物氮素利用率与氮素损失的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(4):779—785.

[6] 肖 强,张夫道,王玉军,等.纳米材料胶结包膜型缓/控释肥料对作物产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(5):951—955.

[7] 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.

[8] 邹国享,邹新良,瞿金平.淀粉/PVA 降解塑料耐水性能的研究[J].塑料科技,2008,36(2):54—58.

[9] Jarrell W M, Boersma L. Release of urea by granules of sulfur-coated urea[J]. Soil Science Society of America Journal, 1980, 40: 418—422.

[10] Jarrell W M, Boersma L. Model for the release of urea by granules of sulfur-coated urea applied to soil[J]. Soil Science Society of America Journal, 1979, 43: 1044—1050.

[11] 戈进杰.生物降解高分子材料及其应用[M].北京:化学工业出版社,2002:345—371.

[12] 刘白玲.聚乙烯醇生物降解性研究[J].维纶通讯,2005,25(4),5—12.

Effect of water content on nitrogen release and biological effect of slightly-water-soluble felted and coated fertilizer

XIAO Qiang, WANG Jia-chen, ZUO Qiang, ZHANG Lin, LIU Bao-cun, ZHAO Tong-ke, ZOU Guo-yuan
(Institute of Plant Nutrition & Resources, Beijing Academy of Agriculture & Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: Slightly-water-soluble felted and coated fertilizer with low cost and easy degradation was developed using a way of water as solvent and coated material. Applying experiments of performance test, indoor soil training test under different field capacity and spring rape pot, a study was made on nutrient release and biological effect of water-soluble felted and coated fertilizer. The results showed that this kind of water-soluble coated material was characterized as its compact contexture, uniform thickness, fine performance of water absorption and permeability and certain degree of biodegradability. Under 50%, 60% and 70% field capacity, ammonium nitrogen content in soil with water soluble felted and coated fertilizer was in positive correlation to water content, and nitrate nitrogen content after 24 d was more than that with urea treatment. The output of spring rape with water-soluble felted and coated fertilizer treatment was higher than that with urea treatment under the condition of 50%, 60% and 70% field capacity, and the difference was significant under 70% field capacity ($P<0.05$). Compared to urea treatment, water-soluble felted and coated fertilizer treatment increased the rape's content of Vc, but not the content of total nitrogen, nitrate or chlorophyll.

Keywords: slightly-water-soluble; felted and coated fertilizer; a way of water as solvent and coated material; development; evaluation