植物营养与肥料学报 2005,11(3):327-333
Plant Nutrition and Fertilizer Science

粒径膜厚与控释肥料的氮素养分释放特性

樊小林，王 浩，喻建刚
（华南农业大学资环学院肥料与平衡施肥研究室，广东广州 510642）

摘要：利用专利技术，以芬兰长之道 Uki 厂生产的粒径分别为 2.5～3.0、3.0～4.0、4.0～5.0 mm 的氮磷钾复合肥制造控释肥料。在 25℃和 40℃恒温条件下培养 0、1、2、3、4、5、6、7、14、21、28、35、42d 后测定氮素释放率，以探讨粒径、包膜厚度（膜材用量）、交联剂等对氮素释放率的影响。结果表明，常温和高温下，包膜厚度相同时，氮素释放率随着肥料粒径的增加而明显增加；但氮素释放率随粒径增长的幅度在膜材用量增大的情况下减小。无论是小粒还是大粒控释肥料，其氮素释放的速率随膜材用量的增多而减小。包膜材料添加交联剂可以明显增加氮素释放率，交联剂 S 的用量对氮素释放率的影响小于交联剂 P。同一包膜厚度和单位质量下，用大粒径核心肥料制造的控释肥料可明显减少包膜材料的用量；但要改进大粒径控释肥料的氮素释放率，应利用表面平滑的核心肥料制造包膜控释肥料。

关键词：控释肥料；粒径；膜材用量；氮素释放率；交联剂
中图分类号：S145.5　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-505X(2005)03-0327-07

Effect of granule size and coating thickness on nitrogen release characteristics of controlled release fertilizers (CRFs)

FAN Xiao-lin, WANG Hao, YU jian-gang
(*Fert. Sci. and Balanced Fert. Res. Lab, College of Nature Resour. and Envir. Sci., South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China*)

Abstract: Research of controlled release fertilizers (CRFs) has been paid great attention in China recently because of their advantages of high nutrient use efficiency, less burning damage to plants and easier to handle. However, the application of CRFs to arable crops has been restricted by high cost of the products. How to reduce the cost of CRFs becomes a crucial factor to promote CRFs in farming practice. The high cost of the CRFs is due to high value of coating material and energy consumption. A lot of researchers have paid great attention to study on manufacture CRFs by cheaper coating materials such as FMP and clay mineral, being producing slow release fertilizer. Nevertheless, longevity of such CRFs is shorter than that of the ones coated by resin or polymer. In other word, CRFs were manufactured by use of FMP and clay as coating material can not control nutrients release properly. So far, no research concerns decreasing cost of coated CRFs by reducing total surface area of a unit weight of kernel fertilizer granule in literature. In order to realize target to decrease manufacture cost by declining surface area of a unit weight of kernel fertilizer, the present study tested nutrients release characteristics of a serials CRFs with different granule diameter under several coating thickness.

The CRFs in study were manufactured by coating Kemira Grow-How NPK (15-15-15) granule as kernel compound. The kernel granules divided into three groups of 2.5 to 3.0 mm, 3.0 to 4.0 mm and 4.0 to 5.0 mm in diameter. Each group granule coated by 51 g, 61 g and 71 g resin per square meter surface of the kernel granule according to a patent technique of South China Agricultural University to produce CRFs with three thickness of coating. The coating materials treated with adding starch and PVA or without them as additives respectively. The CRFs were incubated in dis-

收稿日期：2004-04-15　　**修改稿收到日期**：2004-07-12
基金项目：国家自然科学基金(39870433,30270769)；广东省国际科技计划(C50406, 2004B50201015)；
广东省教育厅优秀人才培养基金(Q02070)项目资助。
作者简介：樊小林(1958—)，男，陕西省咸阳人，教授，博士生导师，主要从事植物营养、肥料研制的教学与科研。

tilled water with a ratio of fertilizer to water at 1:20 for 0,1,2,3,4,5,6,7,14,21,28,35,42 days under constant temperature at 25℃ ± 1℃ and 40℃ ± 1℃ respectively. The ammonium and nitrate were determined at the given time to evaluate the effect of granule size, thickness of coating and additive materials on the nitrogen release rate (NRR).

Results showed that NRR increased with granule size in treatment of CRFs having the same coating thickness under both normal and higher temperature. However, the effect of granule size on NRR decreased with increasing coating thickness. Surface structure of the kernel granule affecting NRR of the CRFs. Increase of coating thickness could decrease NRR. No matter what size of the CRFs, the nitrogen release rate decreased significantly with increase of coating thickness. Additives of both starch and PVA could enhance the NRR. The application amount of PVA had remarkable influence on the NRR compared to starch. To reduce amount of coating material by use of bigger granule could rely on the use of smooth surface kernel granule. Therefore, reducing cost of CRFs could be achieved by manufacturing CRFs through coating smooth surfaced big granule NPK compound.

Key words: controlled release fertilizer; granule diameter; amount of coating material; nitrogen release rate; additives

自20世纪70年代控释肥料受到重视[1]以来，至今人们对控释肥料的认识和评价可以归纳为：养分利用效率高；肥料对作物的伤害小；施用方便；控释肥料因造价高而一般用于特种植物，如花卉或高尔夫球场果岭草坪上；以及低成本控释肥料的研发可扩大控释肥料在农作物上的应用前景。如果控释肥料能在农作物上应用，那么就会对农作物的管理产生巨大的影响[2-7]。我国控释肥料的研究仍处于起步阶段[3]，控释肥料的生产处于实验室和小规模生产阶段，尚未到达商业生产规模。

开发低成本控释肥料的通常做法是选择低价、具有一定缓释或控释效果的包膜材料。但是由于包膜材料本身的原因，往往控释效果不十分理想。制造低价控释肥料的另外一种方法是以吸附氮素能力强的物料为保氮载体并添加一定的氮素增效剂，然后与磷肥和钾肥等混合造粒制成载体型控释肥料，这种肥料其实是一种长效肥料或缓释肥料。目前公认的控释肥料是以有机材料，如树脂为包膜材料，并在高温下生产的包膜肥料[8-10]。但包膜材料贵和工艺复杂是导致控释肥料成本高的主要原因。降低包膜型控释肥料造价出路要么是开发成本低、效率高的包膜材料，要么是寻求减少包膜厚度的方法和技术。根据我们多年来的研究资料，当包膜厚度一定时，控释肥料核心肥料颗粒的大小，即被包膜的肥料之表面积大小直接影响膜材的消耗量，因而影响到控释肥料的制造成本。但是能否通过降低包膜厚度、减少单位质量核心肥料表面积而减少膜材用量来降低控释肥料成本，最终取决于所生产的控释肥料的肥效和供肥的特性。为此，本试验旨在通过研究粒径相同包膜厚度不同，粒径不同包膜厚度相等的多种处理的控释肥料的养分释放规律和供肥特性，以期为控释肥料研制和降低包膜控释肥料生产成本提供科学依据。

1 材料与方法

供试控释肥料是采用华南农业大学肥料研究室发明专利(03140097.3)的技术生产的包膜型控释肥料。其工艺过程如下：

供试控释肥的核心肥料为芬兰 Kemira 长之道公司 Uki 厂制造的 15-15-15 氮磷钾复合肥，其中氮素由 NH_4^+ 和 NO_3^- 组成。肥料颗粒的表面呈明显的凹凸面。相对而言，小粒肥料的表面较平滑，大粒肥料表面的凹凸更为明显(图 1)。包膜材料为水溶性树脂(氯乙烯偏氯乙烯、丙烯酸脂)。供试核心肥料的粒径分别为 2.5～3.0、3.0～4.0 和 4.0～5.0mm。肥料包膜厚度按肥料单位表面积的膜材用量进行换算。2.5～3.0、3.0～4.0 和 4.0～5.0mm 核心肥料的包膜厚度分别为每平方米核心肥料表面积用 71、61、51 g 包膜材料。对粒径 3.0～4.0mm 的肥料，另设每平方米核心肥料表面积用 41、35 g 膜材，并在此基础上分别设加 10%，1% 交联剂 S(Starch)和加 5%、1%交联剂 P(PVA)两种处理，共 19 种控释肥料。包膜控释肥料采用 FLP-5 型流化包膜机制造。

试验采用静态水溶出法测定控释肥料供肥速度或供肥特性。供试的 19 种控释肥料，即 19 个处理(详见表 1)，全因子随机区组设计，每处理重复 3 次。肥、水比为 1:20，即称取 25.00g 控释肥料，置于 500mL 密封瓶，准确加入 500.00mL 纯水，然后分别在(25 ± 0.5)℃和(40 ± 0.5)℃的恒温条件下培养。分别在培养 0、1、2、3、4、5、6、7、14、21、28、35、42d 后，将肥料与提取液摇匀，过滤并收集滤液。然后向每个密封瓶再加入 500mL 纯水，继续在各自的温度下

培养至下一个采样期。滤液用 AA3 自动分析仪测定其中的 NH_4^+ 和 NO_3^-，NH_4^+ 和 NO_3^- 之和与肥料中的 NH_4^+ 和 NO_3^- 总量之比为控释肥料中氮的释放率。培养期如此反复直至控释肥料中的氮素释放率达80%以上。在本研究中,由于试验的目的是比较25℃和40℃下氮素释放率,加之在40℃下培养到42d时,供试肥料的氮素释放率均达到80%以上(当释放率达75%以上时一般认为已经达到最大释放量)[8],所以常温下的试验结果也只取42d以前的测定数据。

图1　核心肥料的表面

Fig.1　Surface of kernel fertilizer

表1　试验的处理及编号

Table 1　Experimental treatments and code

肥料粒径 Particle size	交联剂 Additives	膜材 coating material/肥料表面积 Surface of fertilizer (g/m^2)				
(mm)	(g/kg)	71	61	51	41	35
2.5～3.0	0	T1	T2	T3	—	—
3.0～4.0	0	T4	T5	T6	T10	T11
4.0～5.0	0	T7	T8	T9	—	—
3.0～4.0	100(S)	—	—	—	T12	T13
3.0～4.0	10(S)	—	—	—	T14	T15
3.0～4.0	50(P)	—	—	—	T16	T17
3.0～4.0	10(P)	—	—	—	T18	T19

2　结果与分析

2.1　核心肥料粒径对控释肥料供氮速度的影响

试验结果表明,随着核心肥料粒径的增加,无论温度高低,包膜材料用量(包膜的厚度)多少,氮素释放率增加或明显增加。25℃下,在包膜材料用量为每平方米核心肥料表面积用71 g的处理中,粒径2.5～3.0mm的控释肥料(图2a1)在培养42d后的氮素释放率为6.7%;粒径为3.0～4.0mm(图2b1),4.0～5.0mm(图2b1)的分别为9.1%和14.7%,后两者释放率分别是前者的1.36倍和2.19倍。在包膜材料用量为61 g的处理中,粒径2.5～3.0mm的控释肥料(图2 a2)在培养42d后的氮素释放率为10.2%;3.0～4.0mm(图2 b2),4.0～5.0mm(图2 c2)的分别为24.4%和29.7%,后两者释放率分别是前者的2.39倍和2.91倍。在包膜材料用量为51 g的处理中,粒径2.5～3.0mm的控释肥料(图2 a3)在培养42d后的氮素释放率为39.5%;3.0～4.0mm(图2 b3),4.0～5.0mm(图2 c3)的分别为30.4%和56.7%,后两者释放率分别是前者的0.77倍和1.44倍。

在40℃下,T1～T9各处理的氮素释放率在培养后第42d都大于80%,为此以培养21d时的氮素释放率探讨粒径对氮素释放率的影响。包膜材料用量为71 g的处理中,2.5～3.0mm的控释肥料(图2 a1)在培养21d后的氮素释放率为52.4%;粒径3.0～4.0mm(图2 b1)和4.0～5.0mm(图2 c1)的分别为42.8%和79.4%,后两者释放率分别是前者的0.82倍和1.52倍。在膜材料用量为61 g的处理中,粒径2.5～3.0mm的控释肥料(图2 a2)在培养21d后的氮素释放率为58.7%;而粒径3.0～4.0mm(图2 b2)和4.0～5.0mm(图2 c2)的分别为50.9%和75.2%,后两者释放率分别是前者的0.87倍和1.28倍。在包膜材料用量为51 g的处理中,粒径2.5～3.0mm的控释肥料(图2 a3)在培养21d后的氮素释放率为86.8%;粒径3.0～4.0mm(图2 b3)和4.0～5.0mm(图2 c3)的分别为85.0%和91.2%,后两者释放率分别是前者的0.98倍和1.05倍。

上述结果表明,核心肥料颗粒大小对包膜型控释肥料的氮素释放率有明显的影响。常温(25℃)下,在包膜厚度相等时,氮素释放率随着肥料粒径的增加而明显增加;但在膜材用量大的情况下,随核心肥料粒径加大,氮素释放率增加的幅度减小。在高温(40℃)下,粒径为3.0～4.0mm的氮素释放率与2.5～3.0mm接近,且均明显大于粒径4.0～5.0mm控释肥料氮素释放率。

2.2　包膜厚度对控释肥料供氮速度的影响

图2还看出,无论是核心肥料颗粒小的控释肥料还是核心肥料颗粒大的控释肥料,其释放氮素的速率随包膜厚度的增加(膜材用量的增多)而减小。这在常温下的表现更加明显。粒径为2.5～3.0mm的控释肥料,在25℃下,培养42d时,膜材用量为71、61和51 g/m^2的控释肥,其氮素释放率分别为

6.7%、10.2%和39.5%；40℃下的相应数值分别是86.5%、88.3%和100%(图2 a1、a2、a3)；而粒径为3.0～4.0mm的控释肥料，其相应的数据分别为9.1%、24.4%、30.4%和83.4%、83.1%、100%(图2 b1、b2、b3)；粒径为4.0～5.0mm的控释肥料，其相应的数据分别为14.7%、29.7%、56.7%和100%、100%、100%(图2c1、c2、c3)。对粒径3.0～4.0mm的肥料，当把膜材用量进一步降低到每平方米41 g(T10)、35 g(T11)时，培养至42d时的氮素释放率分别由T4的9.1%增加到54.1%和91.7%。上述结果可以肯定，不论是大粒径还是小粒径肥料，增加膜材用量或增大包膜厚度，均能明显减小氮素释放率，从而延长供肥期。

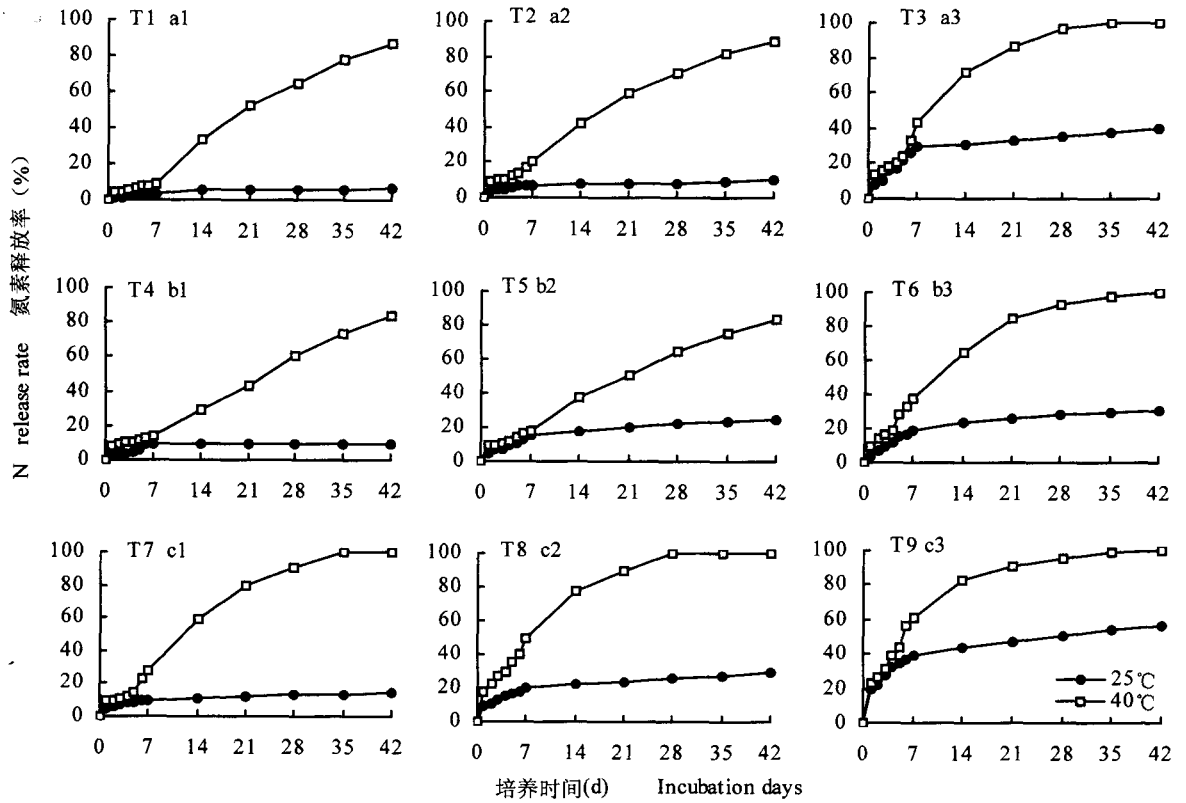

图2 粒径大小对控释肥氮素释放量的影响

Fig.2 Effect of particle size on N release form CRFs at two temperatures

[图中T1—T9代表9种控释肥(见表1)；a、b、c分别代表2.5～3.0、3.0～4.0、4.0～5.0 mm 3种粒径；1、2、3表示包膜材料用量分别为71、61、51g/m².

T1 to T9 represent nine CRFs (see table 1); a, b, c mean the kernel granules 2.5～3.0, 3.0～4.0, 4.0～5.0 mm in diameter, and 1, 2, 3 mean coated by 51 g, 61 g and 71 g resin per square meter surface of the kernel granule, respectively]

为了便于说明包膜厚度对控释肥料控释养分的影响，还用不包括第一天静态水中氮素释放率以外的试验期间每次测定释放率的平均值计算日平均释放率，并以此进行比较(不包括第一天的释放率的理由因为在生产控释肥料的过程，难免肥料中会夹杂着包裹不完全的肥料，所以第一天的释放率不能代表控释肥料中养分释放率)。结果表明，对粒径为2.5～3.0mm的控释肥料，常温下当包膜材料用量从71 g降到51 g时，氮素日平均释放率从0.26%增加到1.15%，增量达349%；粒径3.0～3.5mm控释肥料的相应数值是0.32%、1.31%和305%；粒径4.0～5.0mm控释肥料的相应数值是0.57%、1.72%和200%。由此结果还可以看出，氮素的日平均释放率随粒径的增大而增加，但是大粒径核心肥料在包膜用量减少时，日平均释放率增加大幅度远远小于小粒径核心肥料。因此，大粒径核心肥料制造包膜型控释肥料时，只要包膜厚度一定，适量增减膜材用量，对控释肥料养分释放率的影响小于小粒径核心

肥料。

2.3　交联剂对控释肥料养分释放率的影响

从两种膜材用量添加交联剂 S（图 3 a1）和交联剂 P（图 3 a2）、交联剂用量对控释肥料氮素释放率的影响看出，不论包膜材料多少，也不论是那种交联剂，交联剂用量大的处理（T12、T13、T16、T17），其氮素释放率显著大于用量少的处理（T14、T15、T18、T19）。可见包膜材料中添加交联剂是增加控释肥料养分释放率的有效措施。

图 3 还表明，交联剂种类对控释肥料中氮素释放率的影响很大。交联剂 S 处理的两种用量相差 10 倍，但整个培养期间，用量大的与用量少的释放率曲线的变化趋势一致，两者间的相差保持在一个比较恒定的区间。然而，交联剂 P 的用量只有 5 倍的差异，但是在培养 24h 后，两种包膜厚度处理，用量大的氮素释放率均已经大于 88%，培养 48h 后，均已经达到 100%；但是交联剂用量小的氮素释放率，即使在培养结束时，仅分别为 49.2%（膜材用量多）和 87.2%（膜材用量少），而且氮素释放率随培养期的延长逐渐增加。可见，包膜材料添加足量的交联剂 P 可以使控释肥料的养分释放率明显增大。

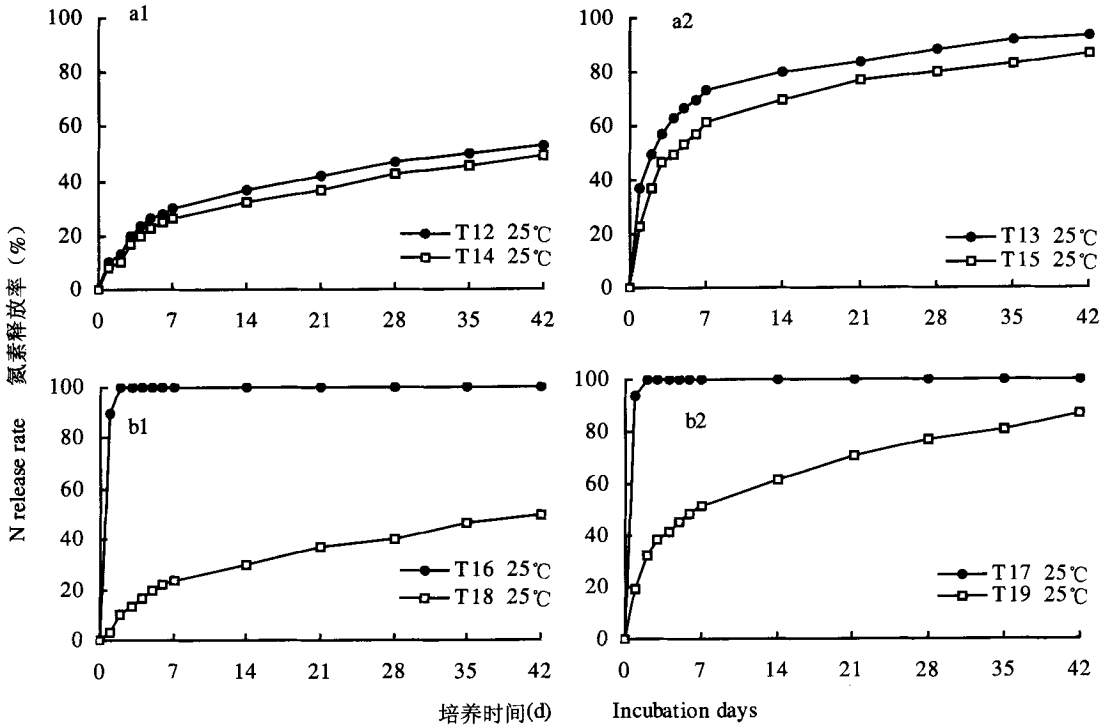

图 3　胶联剂 S(a1、a2)和胶联剂 P(b1、b2)对控释肥氮素释放率的影响

Fig.3　Effect of additives to coating material on N release from controlled release fertilizers

3　讨论

国内外大量研究结果已经证实了控释肥料的肥效[11-13]。对于控释肥料的氮肥利用率明显大于普通氮肥的结论虽无争议，但是对于控释肥料是否可以普遍适用于大田作物，仍有质疑，主要是因为控释肥料的造价高。也就是说，控释肥料大面积推广应用的前提是既要保障肥料的肥效（即控释效果），又要降低制造成本。根据我们多年来的研制经验，对包膜型控释肥料，无论选择何种有机包膜材料，虽然可以通过廉价的包膜材料降低制造成本，但是成本下降幅度是有限的，即要降低控释肥料制造成本，除选用低价包膜材料之外，还应寻求其他法。

本研究的目的就是想通过增加核心肥料粒径而降低单位质量肥料的表面积而减少膜材用量，从而降低控释肥料的制造成本。试验结果表明，粒径增大后，同一包膜厚度下，用大粒径核心肥料制造控释肥料时的包膜材料用量明显减少，但是大粒径控释肥料的氮素释放率大于小粒径的释放率。理论上只要包膜厚度相等，同一包膜厚度下，无论是大粒径肥料制造控释肥料，还是小粒径肥料制造的控释肥料，其供肥期应当一致，但试验结果与预期的相反。那

么是否能通过降低单位质量核心肥料表面积而降低控释肥料膜材用量,来降低制造成本? 分析图 2 a1、b1、c1 和 a2、b2、c2 的结果可以发现,当包膜厚度增加时,氮素释放率随粒径增大而增加的幅度明显减小。可以认为,同一包膜厚度而大粒径控释肥料释放率大于小颗粒的原因可能在于肥料颗粒表面凹凸不平,从而影响包膜层的均匀度。图 4a 是供试控释肥料(以芬兰 Uki 厂的复合肥为核心肥料生产的控释肥料)在立体显微镜下的包膜表面照片,图 4b 是芬兰长之道公司丹麦厂的复合肥制造的控释肥料在同一放大倍数下的照片。从中可以看出 包膜前如果肥料的表明凹凸不平,那么凹凸处膜的厚度就不均一,如所示凹陷处的包膜厚,而凸出部分的包膜薄(图 4a); 相反,肥料表面平滑,包膜厚度均一,大小颗粒的肥料制造的控释肥料的氮素释放率就可能会一致。

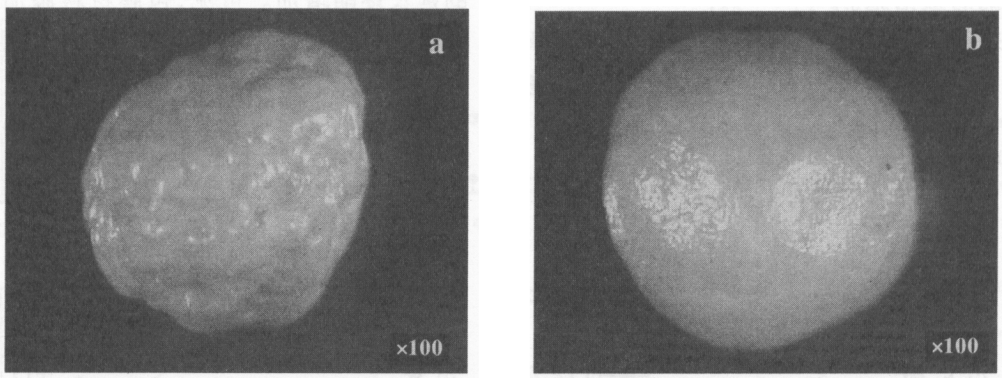

图 4 控释肥料包膜的显微照片

Fig.4 Comparing coating surface structure of two CRF under stero-microscope

(a. 表面凹凸的核心肥料,Fertilizer with un smooth surface; b. 表面平滑的核心肥料 Fertilizer with a smooth surface before coating.)

另外,肥料表面平滑程度影响比表面积。虽然理论上按照粒径和肥料的密度计算的比表面一样,但是事实上表面不平滑时表面积会增大,这样虽然计算的膜材用量一样,但是事实上单位面积上的膜厚度在表面不平滑的肥料上较小。

大粒核心肥料包膜控释肥料氮素释放率大于小粒肥料的另一个原因可能是制造过程流化时间不一。一般每生产一批控释肥料,不论颗粒大小,流化床中需加入一定质量的肥料进行包膜。因此当包膜厚度一定时,小颗粒核心肥料与大颗粒核心肥料所用的膜材母液的数量不同,前者的用量大于后者。所以前者的流化时间和流化过程长,因此核心肥料被包裹的机会多,包膜更加均匀,控释效果就优于后者。究竟大粒核心肥料与小粒核心肥料同一包膜厚度下的氮素释放率在核心肥料表面平滑的情况下如何,有待进一步研究。

综上所述,常温和包膜厚度相等的情况下,控释肥料氮素释放率随着肥料粒径的增加而明显增加,但是膜材用量大的情况下,随核心肥料粒径增大氮素释放率的增加幅度减小。包膜厚度一定时,大粒核心肥料制造包膜型控释肥料中,适量增减膜材用量,对控释肥料养分释放率的影响小于小粒肥料。包膜厚度对氮素释放率的影响大于核心肥料粒径的影响。包膜材料添加足量的交联剂 P(PVA)可以使控释肥料的养分释放率明显增加,所以膜材添加交联剂是调节控释肥料养分释放率的有效措施。

参 考 文 献:

[1] Lunt O R. Controlled-release fertilizers: achievements and potential [J]. J. Agric. Food Chem., 1971, 19(5): 797-800

[2] 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.
Fan X L, Liao Z W. Increasing fertilizer use efficiency by means of controlled release fertilizer (CRF) production according to theory and techniques of balanced fertilization[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,1998, 4(3): 219-223.

[3] 杜昌文,周健民. 控释肥料的研制及其进展[J]. 土壤,2002(3):127-133.
Du C W, Zhou J M. Manufacture and development in the controlled release fertilizers[J]. Soils, 2002, 3: 127-133.

[4] 张 浩,王正银. 缓释/控释肥料研究进展[J]. 黑龙江农业科学,2002(5):18-20.
Zhang H, Wang Z Y. Advance in the research of slow/controlled release fertilizers[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2002(5): 18-20.

[5] 张玉凤,曹一平,陈 凯. 膜材料及其构成对调节控释肥料养分释放特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2003,9(2):170-

173.

Zhang Y F, Cao Y P, Chen K. The effect of coated materials and its structure on the release properties of controlled release fertilizers[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(2): 170-173.

[6] 黄立章,石伟勇,吴建富. 控释肥料的研究动态与展望[J]. 江西农业大学学报(自然科学版), 2002,24(5):727-730.

Huang L Z, Shi W Y, Wu J F. Dynamic and prospect on the research of controlled release fertilizers[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis (Natural Science Edition), 2002, 24(5): 727-730.

[7] 杜建军,廖宗文,毛小云,等. 控/缓肥在不同介质中的氮素释放特性及其肥效评价[J]. 植物营养与肥料学报,2003,9(2): 165-169.

Du J J, Liao Z W, Mao X Y *et al*. N release characteristics of controlled/ slowed-release fertilizer in different media and its effect evalution[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(2): 165-169.

[8] Martin E T. Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture [M]. Paris: International Industry Association, December, 1997.

[9] UNIDO, IFDC. Chapter 1. General concepts, classification, terminology, and definition[A]. UNIDO, IFDC (Eds). Fertilizer manual [M]. Netherlands: Kluwer Academic Publisher, 1998. 1-19.

[10] Shaviv A. Advances in controlled release of fertilizers[J]. Advances in Agronomy, 2000, 71: 1-49.

[11] Shoji S, Delgado J, Mosier A, Miura Y. Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to conserve air and water quality[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2001, 32 (7-8): 1051-1070.

[12] Pauly D G, Nyborg M, Malhi S S. Controlled-release P fertilizer concept evaluation using growth and P uptake of barley from three soils in a greenhouse[J]. Canadian Journal of Soil Science, 2002, 82 (2): 201-210.

[13] Drost D, Koenig R, Tindall T. Nitrogen use efficiency and onion yield increased with a polymer-coated nitrogen source[J]. Hortscience, 2002, 37 (2): 338-342.