

包膜复混肥对油菜养分积累与土壤养分形态的影响

张晓龙¹,何俊龙¹,刘 强¹,荣湘民¹,宋海星¹,官春云²

(1. 湖南农业大学 资源环境学院,土壤肥料资源高效利用国家工程实验室,农田污染控制与农业资源利用湖南省重点实验室,植物营养湖南省普通高等学校重点实验室,湖南 长沙 410128;2. 国家油料改良中心 湖南分中心,湖南 长沙 410128)

摘要:为了探讨包膜复混肥的应用效果。采用多点试验,研究了包膜肥对油菜产量、养分积累以及土壤养分形态的影响。结果表明,与普通复混肥相比含量,全量包膜复混肥能够极显著提高油菜籽粒产量,平均产量可达 2 501.00 kg/hm²,增产率平均达到 13.72%;可以显著提高油菜茎秆产量,对根产量有一定程度的提高,角果皮产量基本不受影响;包膜复混肥能够促进油菜养分在后期快速积累,主要表现在氮和钾的积累方面,磷的积累量没有表现出较好的效果;包膜复混肥养分释放在衡阳表现较好,湘潭次之,宁乡最差;氮肥效果在衡阳地区与油菜生长相协调,钾肥效果在湘潭地区得到体现,磷肥没有表现出缓控释肥的效果;土壤养分浓度与土壤温度是造成包膜复混肥养分释放差异的重要原因。此外,N-P₂O₅-K₂O(12-6-7)的油菜专用肥进行包膜后,能够提高油菜的产量,但在不同的地方使用效果不同,其中磷的养分释放不能与油菜生长相协调,必须通过大配方小调整或改变包膜技术来实现缓控释肥的目的。

关键词:包膜复混肥;油菜;产量;养分积累;土壤养分形态

中图分类号:S147.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2015)03-0223-07

doi:10.7668/hbxb.2015.03.038

Study on Effects of Coated Mutual Mix Fertilizer on Nutrient Accumulation and Patterns of Soil Nutrients

ZHANG Xiao-long¹, HE Jun-long¹, LIU Qiang¹, RONG Xiang-min¹,
SONG Hai-xing¹, GUAN Chun-yun²

(1. College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer, Hunan Provincial Key Laboratory of Farmland Pollution Control and Agricultural Resources Use, Hunan Provincial Key Laboratory of Plant Nutrition in Common University, Changsha 410128, China; 2. National Center of Oilseed Crops Improvement, Hunan Branch, Changsha 410128, China)

Abstract: To investigate the effects of coated mutual mix fertilizer application. The effects of coated mutual mix fertilizer on rapeseed yield, nutrient accumulation and soil nutrient morphology was researched by multi-region field plot experiments. Compared with ordinary mutual mix fertilizer, coated mutual mix fertilizer could significantly improve the yield of rapeseed, and the average yield reached 2 501.00 kg/ha, reaching to 13.72% compared to an average increase rate, it also could significantly improve the yield of rapeseed stalk, and improve the root yield to some extent, while the pericarp yield were not affected; coated mutual mix fertilizer promote nutrients accumulation rapidly in the latter period, mainly presenting in the accumulation of nitrogen and potassium and phosphorus accumulation did not show good results; Coated mutual mix fertilizer nutrient releasing performed better in Hengyang, followed by Xiangtan, Ningxiang was worst, nitrogen releasing in Hengyang area coordinated with rape growth, the effect of potash was reflected in Xiangtan region, phosphate showed no slow-release fertilizer effect; The important reasons that caused the differences in nutrient release of coated fertilizer soil nutrient concentrations and soil temperature. This experiment studies had shown that N-P₂O₅-K₂O(12-6-7) fertilizer for canola envelope could improve the yield of oil-seed rape, but the effects was different in different places, phosphorus nutrient releasing couldn't coordinated with rape growth, to achieving the purpose of slow-release fertilizer, small adjustments to large envelope recipe or chan-

收稿日期:2015-01-16

基金项目:国家支撑计划项目(2012BAD15B04;2010BAD01B01);国家自然科学基金项目(31071851;31101596);湖南省高校创新平台开放基金项目(12K064;10K034)

作者简介:张晓龙(1990-),男,安徽阜阳人,在读硕士,主要从事植物营养与施肥原理研究。

通讯作者:宋海星(1964-),女,黑龙江汤原人,教授,博士,主要从事施肥原理与技术以及植物养分高效生理机制研究。

均达到 13.72%。半量包膜复混肥处理 4 与半量普通复混肥处理 2 相比,在衡阳和湘潭达到显著提高,在宁乡获得一定程度的提高,平均产量达到 1 690.27 kg/hm²,相比平均增产率达到 6.34%。在 3 个试验点不施肥的处理 5 角果皮产量最低,差异极显著,不同施肥处理对角果皮产量影响不明显。在 3 个试验

点油菜茎秆产量中,不施肥处理的茎秆产量最低,全量包膜复混肥处理 3 茎秆产量均为最高,达到显著水平,半量包膜复混肥对茎秆产量的影响不显著。不施肥处理的根产量最低,与普通复混肥相比,包膜复混肥对根产量有一定程度的提高,但没有达到显著水平(表 2)。

表 2 包膜复混肥对油菜产量的影响

Tab.2 The effect of coated compound fertilizer on yield of rape

试验点 Test site	处理 Treatments	籽粒产量/(kg/hm ²) Grain yield	角果皮产量/(g/株) Pericarp yield	茎秆产量/(g/株) Stems yield	根产量/(g/株) Root yield
衡阳 Hengyang	T1	2 129.54Bb	15.34Aa	23.63ABb	5.16Aab
	T2	1 764.90Dd	12.63Aa	16.83BCc	3.85ABbc
	T3	2 342.49Aa	14.91Aa	30.02Aa	5.61Aa
	T4	1 976.69Cc	14.64Aa	21.25Bbc	4.62ABab
	T5	1 090.58Ee	6.34Bb	9.57Cd	2.61Bc
宁乡 Ningxiang	T1	2 085.33Bb	12.66Aa	23.44Bb	2.99Aab
	T2	1 610.00Bc	11.33Aa	20.87Bc	2.37Aab
	T3	2 646.00Aa	14.39Aa	26.67Aa	3.96Aa
	T4	1 648.33Bc	13.12Aa	23.10Bb	2.65Aab
	T5	880.00Cd	5.08Bb	9.06Cd	1.90Ab
湘潭 Xiangtan	T1	2 411.20Bb	12.94ABab	20.13Ab	2.76Aab
	T2	1 381.60Dd	10.38Bb	19.65Ab	2.55ABb
	T3	2 514.50Aa	15.2Aa	26.19Aa	3.24Aa
	T4	1 445.80Cc	11.48ABb	20.48Ab	2.61ABb
	T5	1 010.67Ee	5.61Cc	7.55Bc	1.87Bc

2.1.2 包膜复混肥对油菜体内养分积累的影响
观察 3 个试验点,不同时期的养分积累结果可以发现,就整体结果而言,衡阳的积累状况在 3 个地区表现最好,宁乡次之,湘潭最差。与普通复混肥相比较,包膜复混肥处理氮、磷、钾的积累量在苗期均低于普通复混肥处理。盛花期时,包膜复混肥处理的氮、磷、钾的积累量逐渐出现了超过普通复混肥处理

的现象。到收获期时,包膜复混肥处理氮和钾的积累量在 3 个试验点均高于普通复混肥处理,在磷的积累方面表现出不一样的规律,全量包膜复混肥处理 3 与全量普通复混肥处理 1 相比较,在宁乡和湘潭地区表现较好,在衡阳地区表现较差。半量包膜复混肥处理 4 与半量普通复混肥处理 2 相比较,在衡阳和湘潭地区表现较好,在宁乡地区表现较差(表 3)。

表 3 包膜复混肥对油菜养分积累的影响

Tab.3 The effect of coated compound fertilizer on nutrient accumulation of rape

g

试验点 Test site	处理 Treatments	苗期积累总量			盛花期积累总量			收获期积累总量		
		Total accumulation seedling			Total accumulation flowering			Accumulated total harvest		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K
衡阳 Hengyang	T1	0.550 5	0.041 6	0.302 6	1.348 2	0.131 6	0.903 4	0.795 4	0.136 7	1.213 3
	T2	0.392 2	0.030 7	0.193 7	1.001 8	0.101 8	0.773 9	0.613 8	0.096 2	0.895 9
	T3	0.417 2	0.033 9	0.247 2	0.933 2	0.106 7	0.774 3	0.820 5	0.134 0	1.252 5
	T4	0.258 9	0.022 8	0.178 7	0.841 2	0.087 8	0.613 1	0.716 9	0.117 6	1.015 1
	T5	0.164 4	0.008 7	0.078 5	0.513 4	0.052 9	0.290 2	0.312 8	0.053 9	0.408 0
宁乡 Ningxiang	T1	0.143 5	0.015 2	0.087 7	0.409 5	0.050 0	0.291 0	0.635 5	0.108 9	0.823 9
	T2	0.054 4	0.005 9	0.031 6	0.387 6	0.050 3	0.275 9	0.566 5	0.106 5	0.722 7
	T3	0.134 5	0.013 8	0.085 2	0.443 3	0.049 2	0.300 0	0.706 6	0.119 0	0.862 9
	T4	0.047 2	0.005 6	0.031 5	0.308 9	0.032 4	0.199 6	0.609 7	0.103 3	0.761 7
	T5	0.011 0	0.001 1	0.005 6	0.059 6	0.005 2	0.037 1	0.264 6	0.047 5	0.290 6
湘潭 Xiangtan	T1	0.138 7	0.013 6	0.077 3	0.218 2	0.043 2	0.238 4	0.360 6	0.177 4	0.542 1
	T2	0.058 9	0.005 7	0.027 9	0.180 1	0.039 1	0.200 6	0.251 0	0.118 3	0.462 3
	T3	0.115 5	0.012 9	0.070 6	0.198 9	0.046 2	0.233 7	0.389 7	0.180 6	0.644 8
	T4	0.054 9	0.005 0	0.031 4	0.224 3	0.045 8	0.235 8	0.262 6	0.130 7	0.475 4
	T5	0.019 0	0.001 7	0.009 7	0.072 8	0.018 1	0.070 4	0.143 5	0.076 1	0.202 9

2.2 包膜复混肥对土壤养分形态的影响

观察土壤速效养分形态的变化,从硝态氮 3 个时期含量变化(图 1)可以看出,全量包膜复混肥处理 3 与全量普通复混肥处理 1 相比较,半量包膜复混肥处理 4 与半量普通复混肥处理处理 2 相比较,在衡阳地区均表现出低、高、低的变化特征,在宁乡地区均表现出高、高、低的变化特征,在湘潭地区均表现出低、低、高的变化特征。铵态氮全生育期含量变化(图 2)可以看出,2 个全量施肥相比较,2 个半量施肥相比较,包膜复混肥处理在衡阳地区表现出低、高、低的变化,在宁乡地区表现出低、低、低的变化,在湘潭地区也表现出三低的变化。比较土壤速

效磷 3 个时期的含量变化可以看出(图 3),全量包膜复混肥处理 3 与全量普通复混肥处理 1 相比较,半量包膜复混肥处理 4 与半量普通复混肥处理处理 2 相比较,在衡阳地区均表现出高、高、高的变化,在宁乡地区表现出三低,在湘潭地区表现出高、高、高的变化趋势。观察土壤速效钾在 3 个时期的变化(图 4)可以看出,全量施肥相比较,半量施肥相比较,与普通肥料相比较,包膜复混肥速效钾含量在衡阳地区均表现出高、高、高的现象,在宁乡地区表现出高、高、低的变化趋势,在湘潭地区表现出低、高、低的变化。

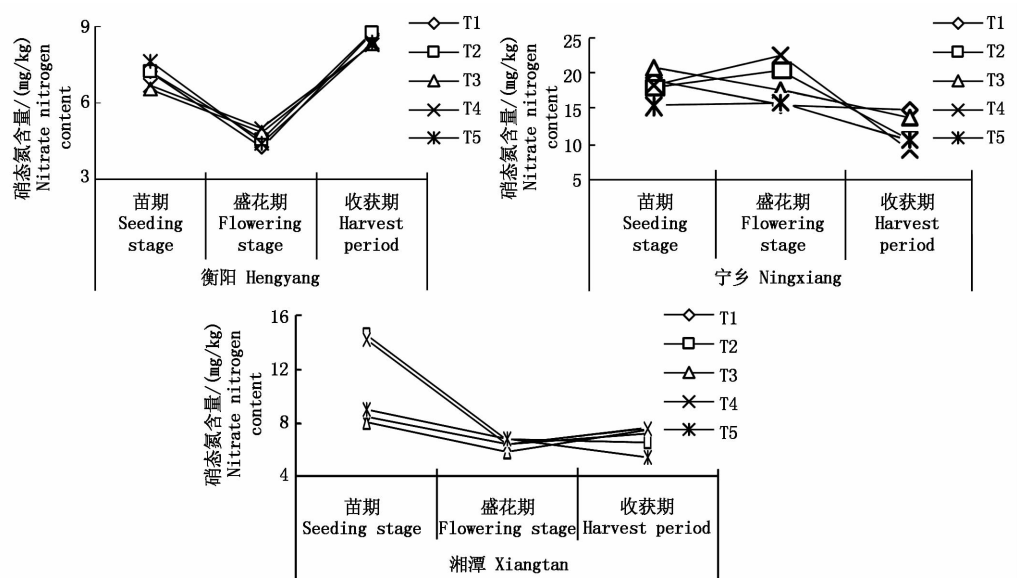


图 1 包膜复混肥对土壤硝态氮的影响

Fig.1 The effect of coated compound fertilizer on soil nitrate nitrogen of rape

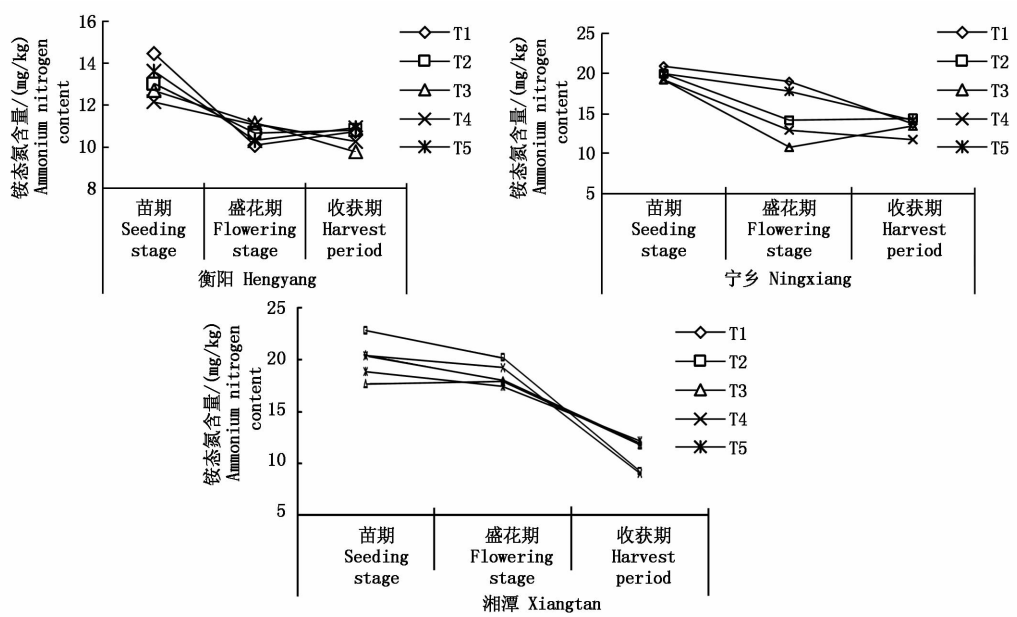


图 2 包膜复混肥对土壤铵态氮的影响

Fig.2 The effect of coated compound fertilizer on soil ammonium nitrogen of rape

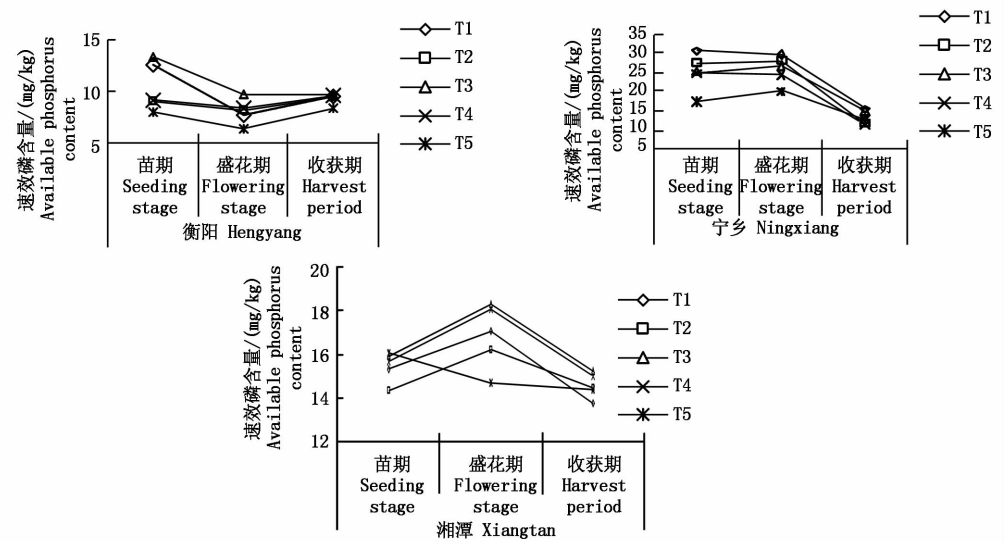


图3 包膜复混肥对土壤速效P的影响

Fig. 3 The effect of coated compound fertilizer on soil available P of rape

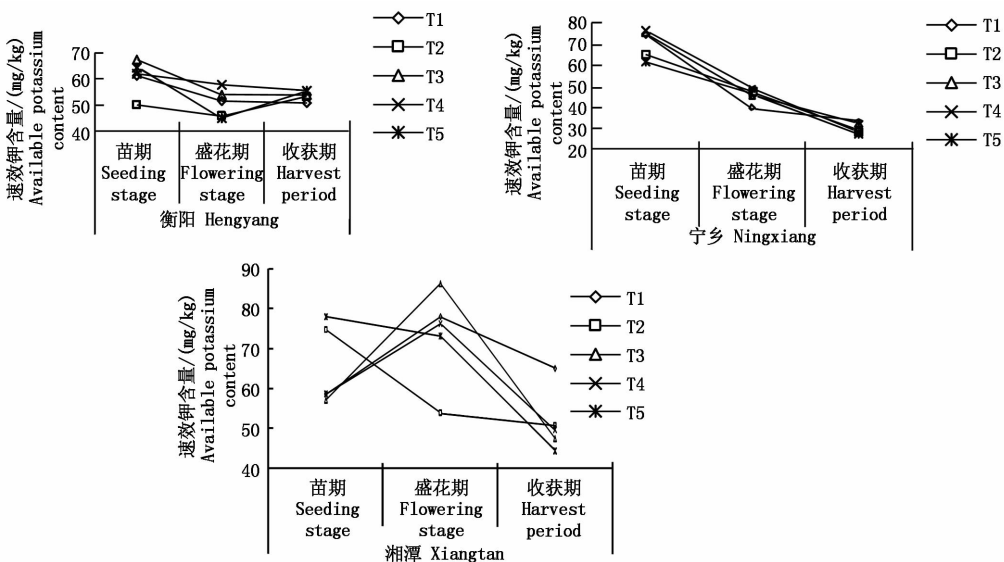


图4 包膜复混肥对土壤速效K的影响

Fig. 4 The effect of coated compound fertilizer on soil available K of rape

3 讨论

自李比希提出矿质养分学说到化学肥料系统的建成与完善,仅用了半个多世纪的时间,就对粮食生产乃至对人类社会的发展都做出了突出的贡献^[10]。20世纪70年代,缓控释肥的研究成为热点,20世纪90年代时,世界缓控释肥的消耗总量已达到65万t,到目前为止,缓控释肥的研究也经历近半个世纪的时间^[11]。就目前的研究结果而言,缓控释肥的研究还徘徊在包膜材料的优化选择,养分释放机理的探索研究上,尤其在我国的研 究还落后于世界发达国家的水平,基本处于起步阶段^[12]。包膜复混肥料作为缓控释肥的一个重要分支,具缓控释肥的优点,也具有自身存在的缺点,但其在提高产量方面的效果同样显著。本试验的研究结果表明,包膜肥料能

够提高油菜籽粒和茎秆产量,但对角果皮的产量没有较大影响。包膜复混肥对油菜养分积累的贡献主要体现在油菜生长发育的后期,但并不是所有的养分都能够 在 后 期 的 积 累 超 过 普 通 复 混 肥 处 理,主 要 体 现 在 收 获 期 磷 的 积 累,没 有 表 现 出 与 氮 和 钾 同 样 的 规 律。因 此,可 以 看 出 本 试 验 所 使 用 的 $N-P_2O_5-K_2O(12-6-7)$ 的 油 菜 专 用 肥 对 氮 和 钾 的 养 分 释 放 能 够 与 作 物 养 分 吸 收 曲 线 相 协 调,磷 的 养 分 释 放 效 果 较 差。

高聚物包膜材料的养分释放主要分为3个阶段,滞后期、线性期、衰减期,养分释放主要集中在 线 性 期,整 个 养 分 释 放 曲 线 符 合 “S” 型 规 律^[13]。包 膜 肥 料 的 养 分 释 放 与 包 膜 内 养 分 的 溶 解 度 有 关,水 分 进 入 包 膜 内 填 充 肥 料 颗 粒 之 间 的 缝 隙,然 后 对 养 分 进 行 溶 解,在 膜 内 与 膜 外 形 成 养 分 浓 度 梯 度,从 而 促

进养分的转移与扩散^[14]。研究表明,钾、铵态氮、硝态氮的滞后期基本一致,而磷的滞后期比三者都长,包膜厚度对滞后期具有一定的影响,只不过当膜的厚度较小时,其对滞后时间的贡献就小,当膜的厚度足够大时,其影响才会较大,直至对滞后期起主导作用^[15-17]。本试验对复混肥料进行包膜,包膜厚度基本均一,但仍存在不同养分滞后期的影响,土壤中养分含量可以对包膜肥料的养分释放做出正确的反应。以包膜肥料的养分释放规律来评价本试验条件下包膜复混肥的应用效果,以及土壤中不同养分形态的分析结果可以看出,在衡阳地区施用包膜复混肥后,氮肥的养分释放规律得到充分体现,铵态氮含量与硝态氮含量均符合包膜肥料的“S”型养分释放规律,收获期的低铵态氮、低硝态氮,减轻了氮肥流失的环境危害;结合植株养分积累状况与土壤养分含量变化,可以看出磷肥效果在衡阳地区表现较好。钾肥效果也在湘潭地区得到充分体现。因此与3个试验点的基础肥力相结合。可以看出,本试验所使用的 N-P₂O₅-K₂O (12-6-7) 的油菜专用肥并不能保证所有养分的合理利用,磷的养分释放并不能与作物生长相协调。3个试验点相比较,这种油菜专用肥更适合在衡阳地区使用,湘潭次之,宁乡最差。由于包膜材料改变了肥料在土壤中的养分释放与运动规律,所以,盲目的对某种肥料进行包膜,尽管在表面上仍能获得高产,但与研制缓控释肥的最终目的相差甚远,是不科学的。与其对不同地方不断地进行大配方小调整,而舍本逐末,不如对单元素养分进行包膜,研究针对不同土壤,不同养分的释放与运动规律,与精确的测土配方施肥技术相结合,根据需要对这种包膜养分进行混合,实现资源高效、绿色环保的包膜肥料发展之路。

综合以上分析可以看出,包膜复混肥在不同地点的养分释放程度不同、养分积累状况不同、提高产量能力不同、环境危害贡献不同,这就导致了包膜复混肥在不同地方的应用效果有所区别。不同地区包膜肥料的养分释放差异是导致这一现象的根源,包膜肥料的养分释放主要受到复混肥的肥料配比与粒径,包膜材料的材质、厚度和溶解性以及自然环境因素3个方面综合作用的影响^[18]。由于本试验3个试验点施用同一种包膜复混肥料,因此,自然环境是影响养分释放的最主要因素,其中土壤环境因素起到最直接的作用,主要包括土壤养分含量的影响以及土壤温度的影响。包膜复混肥养分释放过程中的养分离子交互作用在很大程度上与多离子共存条件下各养分的饱和浓度有关,因此,土壤中速效养分含

量的多少以及包膜肥料养分种类的多少对包膜肥料的养分释放有直接的影响^[19]。然而,包膜复混肥中氮素的释放很少受土壤养分含量的影响主要受到温度与离子交互作用的影响,由于 NH₄⁺ 的代换吸收能力小于 K⁺, NO₃⁻ 的代换吸收能力小于 PO₄⁻, 因此,当 NH₄⁺ 和 NO₃⁻ 溶出包膜时总伴随其他离子的运输,且伴随离子较多的情况下, NH₄⁺ 和 NO₃⁻ 饱和浓度明显增加,运输能力增强^[16-17]。从试验结果可以看出,衡阳地区包膜复混肥磷和钾的释放均高于普通施肥,增加了伴随离子的浓度,从而促进了氮的释放,且满足缓控释肥的养分释放规律。此外,磷含量相对高的土壤包膜复混肥磷的释放受到抑制,整个生育期磷的含量都低于普通肥料的处理,磷含量相对低的土壤,则起到促进作用。因此,磷的效果在3个试验点均没有得到理想的结果。综合土壤速效钾含量可以看出,只有在湘潭地区速效钾含量相对较低的土壤,包膜复混肥中钾的效果才得到体现。因此,3个试验点基础肥力的差别是导致包膜复混肥应用效果有所差异的重要原因。

土壤温度不仅影响植物根系的生长和分布,也会影响土壤重要的物理、化学以及生物化学过程。因此,土壤中肥料的养分释放受土壤温度的影响,同时土壤温度也是影响高聚物包膜肥料养分释放的重要因素,温度升高膜的孔隙度增加,颗粒内养分浓度增多,当温度从 20 ℃ 上升到 50 ℃ 时,温度每增加 10 ℃,控释肥养分溶出率增加 1.6 倍以内^[20]。影响土壤温度的因素很多,主要是由大气温度、经度、纬度和海拔相互作用的结果,由于土壤温度的监测较为困难,在国内以及美国大部分地区均用大气温度来推算土壤温度,但其具有局限性^[21]。利用我国 698 个气象站点的年均土壤温度和年均气温数据以及数字高程模型数据分析出,其中以经度、纬度和海拔为辅助变量的回归克里格法对年均土壤温度的预测效果最佳^[22]。本试验所选的3个试验点所处纬度不同,经度相差不大,由南到北依次为衡阳、湘潭、宁乡。因此,3个试验点土壤平均温度由高到低分别为衡阳、湘潭、宁乡,包膜复混肥的施用效果也应该符合这一规律,这也与本试验的研究结果相一致。因此,土壤温度是造成包膜复混肥应用效果出现差异的另一主要原因。

包膜复混肥的发展对缓控释肥的研究具有积极的作用,将包膜控释理论与复混理论相结合,以作物的需肥特点、土壤的供肥状况为依据,实现包膜肥料的复合专用化技术是研究缓控释肥的便捷之路。由于复混肥的多种养分相混合存在养分间的相互作

用,包膜后施入土壤,其养分释放规律变得更加复杂,很难保证所有养分的释放都满足缓控释肥的“S”型养分释放规律。本试验研究也可以证明,对 $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ (12-6-7)的油菜专用肥进行包膜后,确实能够提高油菜的产量,但在不同的地方使用效果不同,其中磷的养分释放不能够与油菜生长相协调,土壤养分浓度和土壤温度是造成包膜复混肥养分释放差异的重要原因。因此,必须对大配方进行小调整或首先对单元素养分进行包膜在混合的方法,才能走出一条物美价廉、先进高效、科学完善、严格规范的缓控释肥发展之路。

参考文献：

[1] 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.

[2] 张海军,武志杰,梁文举,等. 包膜肥料养分控释机理研究进展[J]. 应用生态学报,2003,14(12):2337-2341.

[3] 宁清同,王丽香. 我国农业化肥污染防治制度初探[J]. 行政与法,2012(11):74-79.

[4] 杨同文,尹 飞,杨志丹,等. 包膜肥料研究现状与进展[J]. 河南农业大学学报,2003,37(2):141-144.

[5] 卫 丽,马 超,黄晓书,等. 控释肥对夏玉米碳、氮代谢的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(3):773-776.

[6] 韩宝文,贾良良,刘小玲,等. 河北省冬小麦主产区控释尿素应用效果研究[J]. 河北农业科学,2010,14(9):56-57,79.

[7] 王艳华,董元杰,邱现奎,等. 控释肥对坡耕地花生生理特性、产量及品质的影响[J]. 作物学报,2010,36(11):1974-1980.

[8] 傅廷栋,杨光圣,涂金星,等. 中国油菜生产的现状与展望[J]. 中国油脂,2003,28(1):11-13.

[9] 李银水,鲁剑巍,邹 娟,等. 湖北省油菜磷肥效应及推荐用量研究[J]. 中国油料作物学报,2009,31(1):

44-50.

[10] 汪丰云,王晓锋,杨林霞,等. 化学家与化学肥料的发展[J]. 化学教育,2011,32(9):94-96.

[11] Landels S P. US markets for controiiied-reiease fertiiz-ers:present size and value,projected demand,trends,and opportunities fornew CRF products[C]//Scheib R M. Controiiied release fertiizier workshop. New York: Marcei Dekker Pubi,1991.

[12] 陈 润,张文辉. 包膜型缓控释肥料的研究综述[J]. 化学工程与装备,2010(10):126-128.

[13] 李 月,廖水姣. 聚合物包膜肥料养分控释研究进展[J]. 胶体与聚合物,2010,28(2):85-88.

[14] Ni B L,Liu M Z,Lü S. Multifunctional slow-release urea fertilizer from ethylcellulose and superabsorbent coated formulations[J]. Chemical Engineering Journal,2009,155(3):892-898.

[15] 杜昌文,周健民,王火焰,等. 聚合物包膜 NPK 复合肥料养分释放滞后期的研究[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(2):179-182.

[16] 汤德源,杜昌文,王火焰,等. 聚合物包膜肥料硝态氮释放特征研究[J]. 土壤,2007,39(6):884-889.

[17] 汤德源,杜昌文,王火焰,等. 聚合物包膜肥料铵态氮释放特征研究[J]. 土壤学报,2008,45(2):274-279.

[18] 孙家琪,宋学君,孙 挺,等. 聚合物包膜肥料的控释性研究[J]. 吉林农业科学,2009,34(1):25-26,39.

[19] 杜建军,廖宗文,宋 波,等. 包膜控释肥养分释放特性评价方法的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(1):16-21.

[20] 陈剑慧,曹一平,许 涵,等. 有机高聚物包膜控释肥氮释放特性的测定与农业评价[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(1):44-47.

[21] 冯学民,蔡德利. 土壤温度与气温及纬度和海拔关系的研究[J]. 土壤学报,2004,41(3):489-491.

[22] 张慧智,史学正,于东升,等. 中国土壤温度的空间预测研究[J]. 土壤学报,2009,46(1):1-8.