DOI:10.16085/j.issn.1000-6613.2010.08.034

进展与述评

作物对氮素的吸收特性和对包膜控释肥的释放性能要求

杨相东，常京涛，蓝 锐，王亭杰，金 涌
（清华大学化学工程系，北京 100084）

摘 要：施用包膜控释肥能够改善作物对养分的吸收，提高化肥利用率，而控释肥释放性能需要依据作物对养分的需求特性来设计。本文综述了主要作物全生命周期对氮素的累积吸收规律，通过分析不同生育时期作物对氮素养分吸收的累积量，将作物吸收养分分为苗期—营养期—生殖期 3 个阶段，累积吸收曲线呈“S”型。而包膜控释肥理想的累积释放曲线也为“S”型，对应滞后期—快速期—衰退期，要从根本上提高养分利用率，控释肥养分释放特性必须与作物吸收特性相匹配。初步分析显示，理想的控释肥释放特性为，对于越冬生长的长生育期作物，应控制滞后期（120～150 天）释放 20%，快速期（约 60 天）释放 55%，衰退期（约 30 天）释放 25%；对于中生育期（90～130 天）作物，控制滞后期（20～30 天）氮素释放 5%，快速期（30～60 天）释放 80%，衰退期（约 30 天）释放 15%；对于在营养期采收的蔬菜，控制滞后期（约 20 天）释放 5%，快速期（约 40 天）释放 95%。

关键词：氮素；包膜；化肥；累积吸收；控释
中图分类号：TQ 0484；TQ 0449 **文献标识码**：A **文章编号**：1000－6613（2010）08－1530－07

Crop nitrogen uptake and its requirement on film coated controlled-release fertilizer

YANG Xiangdong，*CHANG Jingtao*，*LAN Rui*，*WANG Tingjie*，*JIN Yong*
（Department of Chemical Engineering，Tsinghua University，Beijing 100084，China）

Abstract: The utilization of controlled-release fertilizer can improve crop nutrient uptake and fertilizer utilization efficiency. The design of controlled-release fertilizer should be based on the characteristics of crop nutrient uptake. In this paper，the nitrogen uptake accumulation of main crops were analyzed to be a “S”pattern and could be divided into seedling，vegetative and reproductive three periods. An ideal cumulative release curve of film coated controlled-release fertilizers should correspond with this “S” pattern，i.e. a mode of lagging，constant rate and decayed periods. For the match of fertilizer controlled release and crop nitrogen uptake，performance design for controlled-release fertilizer is suggested. For crops with a long growing period of passing winter，the release should be controlled with 20% in lagging of 120 to 150 days，55% in constant rate period of about 60 days，and 25% in decayed period of about 30 days. For corps with life of 90～130 days，the release should be controlled with 5% in lagging of 20 to 30 days，80% in constant rate period of 30 to 60 days，and 15% in decay period of about 30 days. For vegetative harvest of vegetables，the release should be controlled with 5% in lagging of about 20 days，and 95% in constant rate period of about 40 days.

Key words: nitrogen; coating; fertilizer; cumulative absorption; controlled-release

收稿日期：2009-12-31；**修改稿日期**：2010-04-19。
基金项目：国家自然科学基金资助项目（20876085）。
第一作者简介：杨相东（1975—），博士后。**联系人**：王亭杰，教授，博士生导师，主要从事缓控释肥料研究。电话 010-62788993；E-mail wangtj@tsinghua.edu.cn。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

施用包膜控释肥是提高化肥利用率、从源头控制化肥面源污染的有效途径，目前，已开发了多种包膜控释肥生产工艺，如使用有机溶液制备聚乙烯包膜化肥[1−2]、聚合物乳液制备包膜尿素[3−4]等，市场上出现不同的缓/控释肥产品，其养分释放性能差异很大。文献[5]曾对几种包膜控释肥料的氮素释放性能进行了分析，发现不同膜材料和工艺制备的包膜肥养分释放性能差异很大，而且累积释放曲线以直线型和抛物线型为主。虽然国家标准（GB T23348—2009）对包膜缓释肥的养分累积释放特性作了基本规定，但是并没有强调控释肥释放特性与作物吸肥规律相匹配，而实际中只有二者相匹配，才能显著地提高利用率。

关于作物不同生育时期养分累积吸收特性规律有很多研究报道[6−10]，养分累积吸收曲线反映了作物不同生育阶段所需要的养分百分含量及其变化规律。但是，作物养分吸收规律的研究都分散在一些文章和著作中，还没有专门的研究或综述对不同作物养分累积吸收曲线的特征进行比较分析。本文通过整理相关论文和资料中的实验数据，对主要农作物的氮素吸收规律进行总结，研究作物养分吸收量与生育期的对应关系，找出作物对氮素养分的吸收规律，比较分析不同作物对氮素吸收的共性和差异性，提出控释肥料理想的释放性能特征，为控释肥产品设计提供参考。

1　主要粮食作物氮素吸收特性

作物因自身基因型差异和对各种养分吸收机制不同，以及因土壤理化性质、养分存在形态和浓度水平的差异，使得作物对养分的吸收受作物-土壤-养分之间多种综合因素相互影响。要满足作物养分吸收需求，除了调控作物-土壤相互作用以外，很重要的途径就是改善作物养分供应状态。大量的研究表明，不同的施肥方法、施肥量、施肥时间和养分配比都会影响作物的养分吸收量[11]。就作物本身而言，作物吸收养分并分配到各种器官中形成养分库，这些养分库再通过各种生化过程被转化利用[12]。

作物养分吸收是指作物通过主动吸收或被动吸收从土壤环境中获取养分，并通过质外体和共质体途径转运到各器官供作物生长利用的过程。养分吸收规律是指作物对养分的需求量随生长过程的变化特征。作物养分吸收规律一般采用作物生育期内的养分累积吸收曲线来表示。养分累积吸收率可以用式（1）计算。

$$\eta_t = \frac{C_t m_t}{C_T m_T} \tag{1}$$

式中，η_t 表示作物播种后 t 天内养分累积吸收百分率；C_t 表示播种后第 t 天测定的作物养分百分含量；m_t 为第 t 天测定时作物体干物质量；C_T 表示收获期测定的作物体养分百分含量；m_T 为收获期作物体干物质量。

不同作物生育期长短不同，加之栽培制度、气候条件等因素的影响，使得作物生长时期与养分累积吸收率的关系表现出多样性。下文以我国主要的粮食作物（水稻、小麦、玉米、大豆、油菜、烟草、棉花）以及部分蔬菜（甘蓝、萝卜）为例，分析氮素累积吸收百分率，并根据生育期的长短不同，分长、中、短生育期三类作物，分别研究其氮素累积吸收曲线的特征，分析其氮素吸收规律。

1.1　长生育期作物氮素吸收特性

一些作物在秋季播种，种子萌芽、出苗后需要经过越冬期，在次年气温回升时返青，继续经历一段营养生长期后，在气温较高的夏季进入生殖生长，最后完成其生命周期。这类作物包括冬小麦和油菜等，其生育期一般为 200～260 天。本研究采用冬小麦不同生育期氮素营养吸收的实验结果[13−15]，建立冬小麦氮素累积吸收百分率随生长时间的关系，得到冬小麦养分累积吸收曲线，如图 1。由图 1 可见，不同氮水平、灌水处理和高产优化栽培条件下，各种处理都有比较一致的变化趋势，其氮素累积吸收曲线呈“S”型。冬小麦从播种（10 月上旬）到出

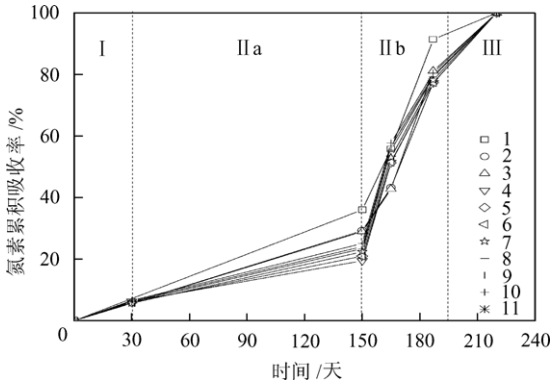

图 1　冬小麦氮素累积吸收率

Ⅰ—苗期；Ⅱa—营养前期；Ⅱb—营养后期；Ⅲ—生殖期；1—高产处理[15]；2～4—限水灌溉下不同氮素水平处理[14]；5～11—前茬施氮水平不同处理[13]

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

苗，约 3 周的时期一般不吸收养分，而出苗后到入冬前存在一个氮素少量吸收的时期。入冬前到返青大约 120 天的时间内，小麦处于越冬期，生长缓慢，氮素吸收较少。随着气温回升，小麦加速生长，对氮素的吸收也越来越多，即从返青到开花大约 40 天的时间内，累积的氮素占 51%～58%。随后在生殖生长阶段，氮素吸收迅速减少，仅占总量的 20%～23%。

根据油菜氮素累积吸收规律的研究数据[16−17]，可以得到油菜养分累积吸收曲线，如图 2。由图 2 可见，油菜苗期生长量很小，所占全生育期氮素吸收总量的百分率很低，在播种后 3 周（三叶期）仅占 0.4%。而在播种后 52 天（从移栽到越冬前）氮素吸收量占到5.8%。在营养期约150天的时间内（从越冬到终花）氮素吸收量约为 73.8%。最后一个月油菜进入成熟期，氮素吸收量占 20.4%。

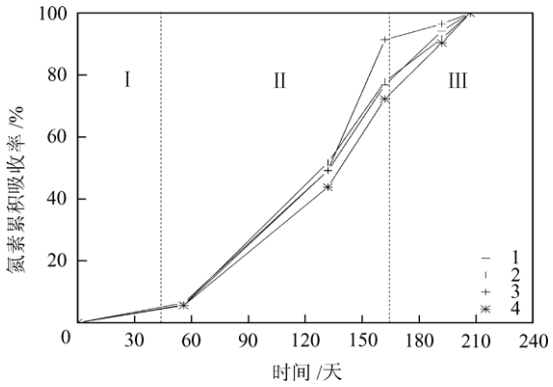

图 2　油菜氮素累积吸收率

Ⅰ—苗期，Ⅱ—营养期，Ⅲ—生殖期（后图同）；
1～4—不同油菜品种处理[16]

棉花也有类似的栽培和生长发育特性，图 3 是棉花氮素累积吸收曲线[18]，从图可见，高、中、低 3 个施肥水平下，棉花的氮素吸收曲线趋势一致。

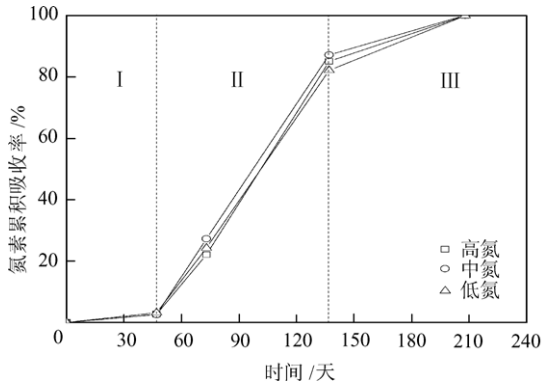

图 3　棉花氮素累积吸收率

其规律为苗期长，氮素吸收少，播种后 47 天氮素累积量为 3%；营养生长阶段约 90 天（苗期到花铃期），氮素累积量达 85%；之后为生殖生长阶段（从叶穗期到采收），70 天内氮素吸收量约为 12%。养分吸收曲线为典型的“S”型。

长生育期作物因越冬期温度低，生育发展缓慢，其养分吸收在苗期之后经历一个缓慢吸收过程，在次年返青或抽薹之后进入快速生长期，对氮素吸收量迅速增大，这个阶段氮素吸收量占 50%～60%，是其养分的主要吸收期。之后是生殖生长阶段，养分吸收速率减慢，直至停止吸收。

1.2　中生育期作物氮素吸收特性

大多数作物在春夏之交播种，秋季收获，生育期为 100～160 天，如水稻、玉米、大豆和烟草等。我国水稻种植面积约占粮食作物总面积的四分之一，而产量接近全国粮食总产量的二分之一[9]。根据播种时间不同，可分为早稻、中稻和晚稻三类，播种时间和生育期长短差异较大。这里以早稻为例[19]，分析早稻氮素累积吸收总量随生长时间的变化关系，根据实验数据绘制的水稻氮素累积吸收曲线如图 4。由图 4 可见，不同品种水稻在不同地区养分正常供应的情况下，氮素吸收在各个不同生育时期有着比较一致的累积百分率。秧苗期（从播种到移栽）41 天的时间内养分吸收量占全生育期的 2.5%左右；营养生长期约 70 天（从三叶期到拔节期），这期间氮素吸收量占全生育期的 80.7%；进入生殖生长阶段后，氮素累积吸收量为 16.8%，吸收量明显减少。全生育期内养分累积吸收曲线为“S”型。

夏玉米是夏初播种，秋季收获，生育期一般为 100～130 天。图 5 是夏玉米氮素累积吸收曲线[20−22]，

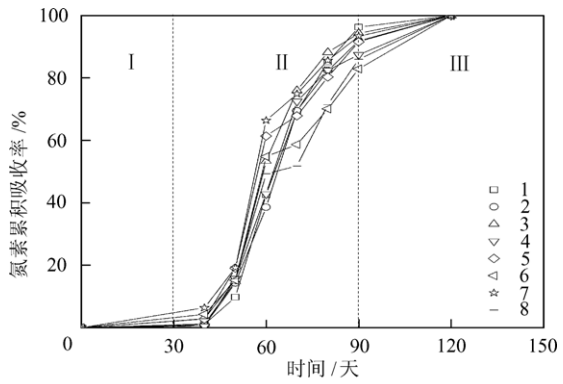

图 4　水稻氮素累积吸收率

1～4—不同早稻品种；5～8—不同的晚稻品种[19]

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

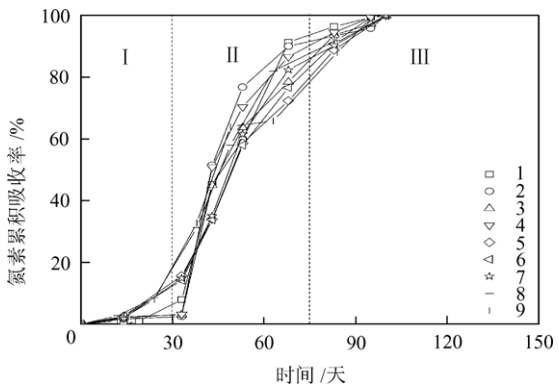

图 5　夏玉米氮素累积吸收率

1—高产处理[20]；2～7—不同施氮量处理[21]；8～9—不同品种处理[22]

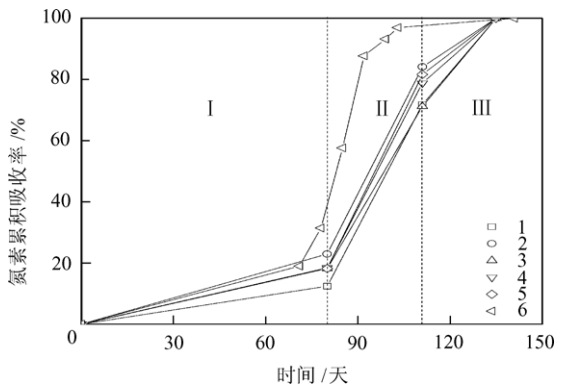

图 7　烟草氮素累积吸收率

1～5—不同氮素施用量处理[24]；6—来源于 Collins[25]

根据翟立普[22]的实验数据，玉米苗期约 20 天，此期间氮素累积吸收量为 2.5%；营养生长阶段（从苗期到吐丝）约 50 天，其氮素累积吸收量为 85%；此后进入生殖生长阶段，约 30 天氮素累积量为 12.5%。

大豆生育期为 120 天左右，图 6 为王立刚等[23]研究大豆吸收氮素规律的实验结果。由图 6 可见，大豆苗期较玉米和水稻长，苗期 34 天氮素累积量为 3.2%，之后营养期 65 天累积吸收氮素约 76.6%，而成熟期 35 天占 20.2%。

烟草移栽后养分累积吸收曲线如图 7[24]。烤烟对氮素的吸收主要集中在移栽后到打顶前，典型的北美烤烟养分吸收曲线是：在烤烟移栽后 3 周至移栽后 8 周，这段时间氮素累积吸收量达 80%以上[25]。为了提高烤烟质量，需要精确控制氮肥的供应量和供应时间，在打顶前供应充足的氮素，而在之后必须减低氮素供应量。我国烤烟氮素管理也要求在移栽后 30 天充分供氮，而在 40～50 天达最大值，到 70 天左右迅速下降，80 天左右不再供应氮素[26]。

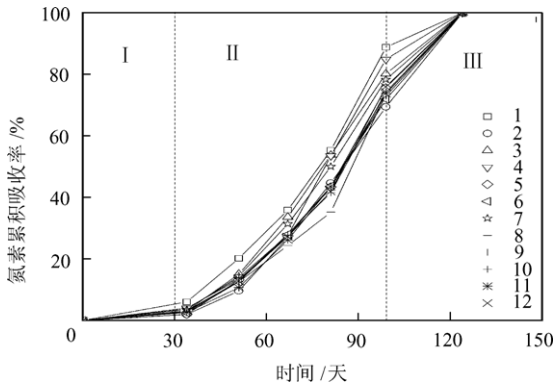

图 6　大豆氮素累积吸收率

1，2—不同种植密度处理；3～12—不同施肥量处理[23]

中生育期作物对氮素的需求特点显著，养分累积吸收曲线呈典型的“S”型，苗期—营养期—生殖期对应慢速—快速—慢速吸收。即苗期氮素吸收量很少，在生殖期也不需要过多的氮肥，而且生殖期氮素过多会造成作物贪青晚熟减产，因此，要求氮素供应集中在营养期约 60 天的时间内。

1.3　短生育期作物氮素吸收特性

部分蔬菜从移栽到采收，生长期约 60 天，在生殖生长前就采收，生育期短，养分吸收强度大。根据研究数据（见图 8）[27−28]，萝卜在 20 天（苗期）氮素吸收量仅为 0.6%，甘蓝在约 20 天（缓苗期）的时间内氮素吸收量也只有 3%。之后快速生长，其养分吸收也呈快速增加趋势，直到采收，几乎全部的养分吸收量都集中在该时期。

2　作物氮素累积吸收曲线的特征

按照苗期、营养期和生殖期来划分生育期，比较各生育期的时间和氮素吸收率可以得出作物氮素

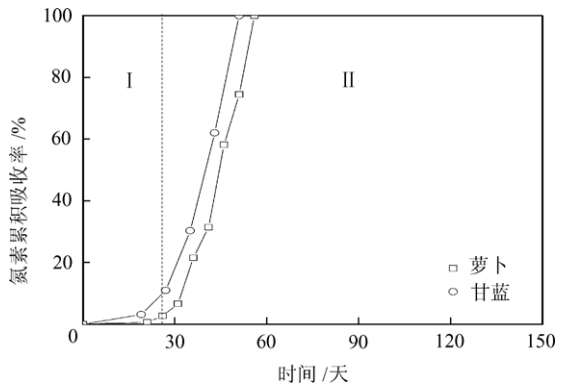

图 8　甘蓝和萝卜的氮素累积吸收率

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1　不同作物生育期的氮素吸收百分率

作物	生育期	Ⅰ苗期		Ⅱ营养期		Ⅲ生殖期	
	时间/天	时间/天	吸肥率/%	时间/天	吸肥率/%	时间/天	吸肥率/%
冬小麦	210～240	30	6.1	130	72.4	80	21.5
油菜	200～230	52	5.8	150	73.8	30	20.4
棉花	约 207	47	2.8	90	84.8	70	12.4
水稻	110～160	25	2.5	60	80.7	50	16.8
夏玉米	100～120	20	2.5	60	85.0	20	12.5
大豆	110～130	34	3.2	60	76.6	30	20.2
烟草	91①	21②	19.0	28	74	42	7.0
萝卜	56①	21②	0.6	35	99.4	—	—
甘蓝	51①	19②	3	32	97	—	—

①为移栽后的生育期；②为移栽后的苗期。

吸收的主要特征，如表 1。从表 1 可见，长生育期作物生长需要 200 天以上，如小麦，在越冬前养分吸收约为 6.1%，营养期约 130 天吸收 72.4%的氮素，生殖期约占 21.5%。对于中生育期作物，如水稻、夏玉米和大豆生育期约 120 天，其苗期一般为 30 天，苗期氮素吸收总量小于 3%，营养期 60 天氮素吸收总量约占 80%，生殖期 30 天左右养分吸收约为 17%。一些蔬菜从移栽到采收约为 60 天的生育期，苗期（或缓苗期）约 20 天的时间内养分吸收量很少，其后 20 天吸收量约为 30%，而采收前约 15 天的时间吸收量为 70%。

综上所述，生育期较长的作物因为有漫长的越冬期，使得生长周期长，而且养分吸收的阶段性特征明显，即入冬前和越冬期吸收缓慢，返青后吸收快速增长，孕穗后下降。春夏播种的作物生育期一般在 120 天左右，而且随着气候变化，生长过程对氮素吸收曲线呈明显的“S”型，即苗期吸收量小，营养期快速吸收，之后吸收量减小。一些采收营养器官的蔬菜，一般生长期在 60 天左右，苗期吸收缓慢，而营养期快速吸收养分，在生殖生长期前完成采收。

作物从播种到养分临界期（15～20 天），主要依靠种子营养供给生长所需，这段时间几乎不吸收养分。临界期过后，随着根系的下扎和吸收能力的提高，作物需要从土壤环境中吸收大量的养分，使得植株体内氮素浓度达到全生育期最高值，但是因作物生物量小，整个苗期（20～50 天）养分吸收总量仅占 5%左右。营养期是作物形成各种器官的关键时期，生长发育快，生物量累积最多，不同的作物表现出不同的需求特征，养分吸收总量占 80%左右。生殖期主要是形成籽粒，生物量增加不多，氮素吸收急剧下降。从栽培管理来看，生殖生长时期过多的氮素供应，还可能带来作物贪青晚熟的问题，因此，必须控制该时期的氮素供应量。

3　现有控释肥氮素累积吸收曲线的特征

目前，包膜控释肥养分释放特征曲线有直线型、抛物线型和“S”型。谢银旦等[29]研究了释放期为 3 个月、4 个月和 5 个月的聚烯烃包膜尿素在水和土壤中的氮素累积释放速率，如图 9，养分释放呈抛物线型或直线型。图 10 列举了几种其它文献报道的

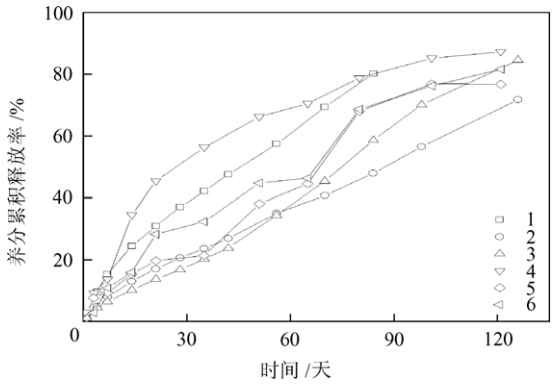

图 9　包膜尿素在水和土壤中的氮素累积释放曲线
1～3—水中释放曲线；4～6—土壤中释放曲线[30]

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

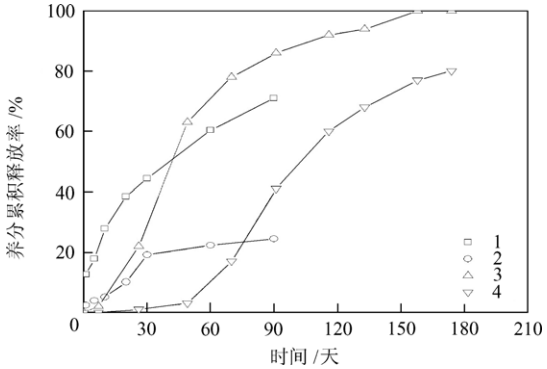

图 10　控释肥料累积释放曲线

1～2—文献[33]；3～4—文献[32]

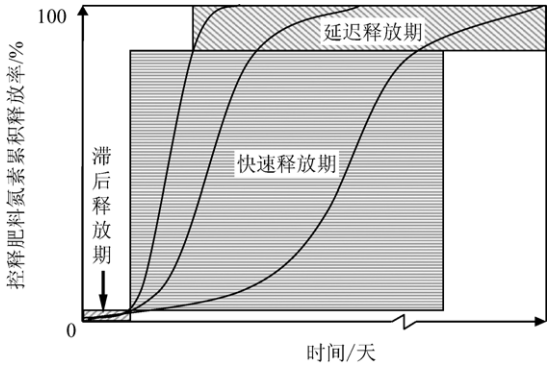

图 11　与作物氮素吸收匹配的控释肥累积释放曲线

包膜控释肥养分累积释放特性曲线[30−31]，这些曲线有抛物线型和“S”型。抛物线型曲线虽然也满足欧洲标准化委员会所规定的控释标准[32]和中国国家标准（GB T23348—2009），但与前面所述作物养分吸收曲线均不能很好地匹配，难于实现优化作物养分吸收的目标。

4　作物对氮素吸收特点和对包膜控释肥性能的要求

基于以上分析，作物对养分的吸收可以分为 3 个阶段，即苗期、营养期和生殖期。对于全生育期作物，苗期 20～30 天，氮素吸收量在 5%左右；营养期为 30～150 天，养分吸收占 75%～80%；生殖生长期为 30～80 天，养分吸收占 20%左右。对于蔬菜，养分吸收几乎全部集中在营养生长期。全生育期作物养分吸收在营养期长短上差异显著，营养期为 60 天左右的中生育期作物，日均吸收 1.3%，营养期为 30 天左右的日均吸收 2.6%～3%。

此外，土壤自身也能够供应一部分氮素给作物，土壤中有机态氮矿化后能够被作物吸收，矿化量随季节温度而变化。开春后土壤温度升高，土壤氮素矿化量也随之增加，秋后气温降低氮素矿化量减少，从开春到秋冬的累积矿化量也近似为“S”型。土壤矿化氮一般占养分吸收总量的 35%左右，作物吸收的氮素 65%来源于肥料氮[33]。另外，上茬施肥残留在土壤中的氮素也能被作物吸收利用。这些基础养分作为养分源并不改变作物养分吸收规律，只影响养分供应总量，对肥料养分供应规律影响不大。忽略土壤环境中氮素供应变化的影响，肥料养分供应与作物养分吸收的匹配关系可用图 11 来表示。包膜控释肥的养分释放也可分为 3 个时期：滞后期、快速期和衰退期。理想的控释肥养分累积释放曲线为“S”型，滞后期养分释放总量控制在 10%以内，快速释放期为 30～150 天，控制释放总量在 75～80%，衰退期为 30 天左右，控制释放总量在 15%以内。

5　结　语

作物对氮素养分吸收可分苗期—营养期—生殖期，这 3 个时期的氮素累积吸收曲线总体上呈现“S”型。长生育期作物因越冬生长，苗期时间长，其生育期作物养分吸收特点是，苗期和营养前期（约 150 天）缓慢吸收，营养后期（约 60 天）快速吸收，生殖期（约 30 天）减量吸收；中生育期春播作物养分吸收特点是，苗期（约 30 天）少量吸收，营养期（约 60 天）大量吸收，生殖期（约 30 天）减量吸收；生育期短的部分蔬菜因在生殖期前就完成采收，养分吸收主要集中在营养期，特点是苗期（约 20 天）少量吸收，营养期（约 40 天）快速吸收。

包膜控释肥养分释放性能要与作物氮素吸收规律相匹配，其养分累积释放曲线应呈“S”型，需针对作物苗期—营养期—生殖期对养分的需求，合理设计控释肥在滞后期—快速期—衰退期的释放时间和释放量。对于长生育期的作物，应设计滞后期（120～150 天）释放氮素 20%，快速期（约 60 天）释放 55%，衰退期（约 30 天）释放 25%；对于中生育期作物，应设计控释肥滞后期（20～30 天）释放氮素 5%，快速期（30～60 天）释放 80%，衰退期（约 30 天）释放 15%；对于营养期采收的蔬菜类作物，应设计滞后期（约 20 天）释放 5%，快速期（约 40 天）释放 95%。

（下转第 1540 页）

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

成分的收率。

（2）本文采用先水提、后酶解、再水提 3 步提取方法，存在于胞外的多糖等成分在第一步分离出来，避免了果胶酶等对多糖的水解作用，多糖的收率提高较大。

（3）用中性蛋白酶分解蛋白质，使占细胞干重 20%～30%的茶蛋白对多糖浸出的影响降低，同时后续分离过程中，体系黏度降低，有利于分离操作。多糖的纯化步骤中可以省去除蛋白一步。

（4）经酶解后的茶渣可作为动物饲料、有机复合肥等。

参　考　文　献

[1] 张卫红，张效林. 复合酶法提取茶多酚工艺条件研究[J]. 食品研究与开发，2006（11）：5-7.

[2] 王无风，金征宇. 酶法提取茶多糖工艺的研究[J]. 江苏农业科学，2005（3）：122-124.

[3] 刘军海，杨海涛，刁宇清. 复合酶法提取茶多酚工艺条件研究[J]. 食品与机械，2008（5）：74-77.

[4] 石奇，樊君，石异. 中性蛋白酶法提取大枣多糖的研究[J]. 时珍国医国药，2009（1）：7-8.

[5] 王黎明，夏文水. 水法提取茶多糖工艺条件优化[J]. 食品科学，2005（5）：171-174.

（上接第 1535 页）

参　考　文　献

[1] 张民，杨越超，宋付朋，等. 包膜控释肥料研究与产业化开发[J]. 化肥工业，2005，32（2）：7-13.

[2] 邢礼军，李亚星，徐秋明，等. 一种脲醛控释肥料的合成方法：中国，02155568.0[P]. 2002-12-11.

[3] 姚俊杰，王亭杰，潘健平，等. 用聚合物乳液为包膜剂制备缓释尿素[J]. 化工进展，2005，24（6）：666-670.

[4] Liu Yonghui，Wang Tingjie，Wang Minghao，et al. Film coating of urea particles with polymer latex for controlled release[C]// The Third Asian Particle Technology Symposium，Beijing，China，2007：912-920.

[5] 杨相东，曹一平，江荣风，等. 几种包膜控释肥氮素释放特性的评价[J]. 植物营养与肥料学报，2005，11（4）：501-507.

[6] 易镇邪，王璞，申丽霞，等. 不同类型氮肥对夏玉米氮素累积、转运与氮肥利用的影响[J]. 作物学报，2006，32（5）：772-778.

[7] 刘代平. 不同油菜品种氮素吸收利用特性与氮效率差异的比较研究[D]. 长沙：湖南农业大学，2006.

[8] 姜丽娜，李春喜，代西梅，等. 超高产小麦氮素吸收、积累及分配规律的研究[J]. 麦类作物学报，2000，20（2）：53-59.

[9] 刁操铨. 作物栽培学各论（南方本）[M]. 北京：农业出版社，1994.

[10] 王树安. 作物栽培学各论（北方本）[M]. 北京：农业出版社，1997.

[11] 朱兆良，文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京：江苏科学技术出版社，1992.

[12] Marshner H. Mineral nutrition of higher plants[M]. London：Academic Press，1986.

[13] 赵俊晔，于振文. 高产条件下施氮量对冬小麦氮素吸收分配利用的影响[J]. 作物学报，2006，32（4）：484-490.

[14] 吴永成. 华北地区冬小麦-夏玉米节水种植体系氮肥高效利用机理研究[D]. 北京：中国农业大学，2005.

[15] 吴国梁，崔秀珍. 高产小麦氮磷钾营养机理和需肥规律研究[J]. 中国农学通报，2000，16（2）：8-11.

[16] 范巧佳，牛应泽，倪芳，等. 几个油菜品种氮磷钾吸收积累特性的初步研究[J]. 四川农业大学学报，1997，15（2）：205-210.

[17] 单玉华，冷锁虎，朱耕如，等. 杂交油菜秦油二号氮素的积累与分配规律[J]. 中国油料，1996，18（1）：14-17.

[18] 中国农业科学研究院棉花研究所. 中国棉花栽培学[M]. 上海：上海科学技术出版社，1983.

[19] 邹长明，秦道珠，徐明岗，等. 水稻的氮磷钾养分吸收特征及其与产量的关系[J]. 南京农业大学学报，2002，25（4）：6-10.

[20] 张智猛，戴良香，董立峰，等. 高产夏玉米氮、磷、钾吸收、积累与分配态势的研究[J]. 河北农业技术师范学院学报，1995，9（2）：11-17.

[21] 傅应春，陈国平. 夏玉米需肥规律的研究[J]. 作物学报，1982，8（1）：1-8.

[22] 翟立普. 不同产量水平玉米生物产量和养分吸收态势研究[J]. 长春：吉林农业大学，2006.

[23] 王立刚，刘景辉，刘克礼，等. 大豆氮素吸收规律的研究[J]. 中国农学通报，2004，20（6）：162-165.

[24] 汪耀富，张福锁. 干旱和氮用量对烤烟干物质和矿质养分积累的影响[J]. 中国烟草学报，2003，9（1）：19-23.

[25] Collins W K，Jr Hawks S N. Principles of flue-cured tobacco production[M]. Raldigh：North Carolina，1994：23-98.

[26] 胡国松，郑伟，王震东，等. 烤烟营养管理[M]. 北京：科学出版社，2000.

[27] 程绍义，袁文仲，隋方功，等. 春萝 1 号氮素吸收规律的研究[J]. 莱阳农学院学报，1994，11（2）：265-268.

[28] 张剑国，杜素惠，王永珍，等. 覆膜早甘蓝干物质累积与养分吸收的研究[J]. 山西农业大学学报，1995，15（2）：134-138.

[29] 谢银旦，杨相东，曹一平，等. 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.

[30] Thompson H E，Kelch R A. Encapsulated slow release fertilizers. US，005089041[P]. 1992-02-18.

[31] Fujita T，Takahashi C，Ohshima M. Method for producing coated fertilizer：US，4019890[P]. 1974-12-04.

[32] Trenkel M E. Improving fertilizer use efficency——Controlled release and stabilized fertilizers in agriculture[M]. Paris：International Fertilizer Industry Association，1997：3-151.

[33] Sheldrick W F，Syers J K，Lingard J. Soil nutrient audits for China to estimate nutrient balances and output/input relationships[J]. *Agriculture*，*Ecosystems & Environment*，2003，94（3）：341-354.

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net