

氮肥追施时期及包膜控释氮肥对冬小麦产量和氮素吸收的影响*

李若楠 王丽英 张彦才** 刘孟朝 翟彩霞 陈丽莉

(河北省农林科学院农业资源环境研究所 石家庄 050051)

摘要 采用盆栽试验,研究了氮肥追施时期和包膜控释尿素对冬小麦产量、产量构成、氮肥利用率和土壤氮素表现损失等方面的影响。结果显示:冬小麦氮肥最佳追肥时期为拔节期;与40%普通尿素底施+60%普通尿素拔节期追施(F2)相比,30%普通尿素+35%控释期90 d包膜尿素+35%控释期120 d包膜尿素配合(F4、F6)一次性底施的氮素释放与冬小麦对氮素需求吻合较好,F4小麦植株总氮吸收量增加6.11%,减氮25%条件下(F6)增加8.48%;与F2相比,F4使冬小麦增产5.02%,经济系数提高6.43%,氮肥利用率提高10.22%,同时土壤氮素表现损失降低。F4通过提高千粒重和单穗重来提高产量,而F6通过维持穗粒数保证产量。

关键词 包膜控释尿素 氮肥追肥时期 冬小麦 产量 氮肥利用率 氮素表现损失

中图分类号: S147.23; S143.1+5 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2010)02-0277-04

Effect of topdressing time of nitrogen fertilizer and controlled-release coated urea on winter wheat yield and apparent nitrogen recovery rate

LI Ruo-Nan, WANG Li-Ying, ZHANG Yan-Cai, LIU Meng-Chao, ZHAI Cai-Xia, CHEN Li-Li

(Institute of Agro-resources and Environment, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract Pot experiments were used to investigate the effect of topdressing time of nitrogen fertilizer and application of controlled-release coated urea on wheat yield, yield component, apparent nitrogen recovery rate and apparent soil nitrogen loss. The results show that jointing stage is the best time for topdressing of nitrogen fertilizer in winter wheat. Compared with 40% basal and 60% topdressing urea (F2) at jointing stage, nitrogen release trend of 30% urea, 35% coated urea with a release time of 90 d, and 35% coated urea with release time of 120 d (F4, F6) mixed basal application is more or less the same as that of plant nitrogen requirement. The total nitrogen accumulation under F4 (with normal N dose) increases by 6.11%, while under F6 (with 75% of normal N dose) increases by 8.48% compared with F2. Wheat yield, economic coefficient and apparent nitrogen recovery rate increase by 5.02%, 6.43% and 10.22% under F4 respectively. Furthermore, apparent soil nitrogen loss decreases. F4 increases yield by improving 1000-grain weight and single spike weight, F6 guarantees the yield through maintaining the grain number per spike.

Key words Controlled-release coated urea, Topdressing time of nitrogen fertilizer, Winter wheat, Yield, Apparent nitrogen recovery rate, Apparent soil nitrogen loss

(Received Feb. 13, 2009; accepted May 28, 2009)

小麦是我国北方最重要的粮食作物之一,氮肥是影响小麦生长发育最为活跃的栽培因子,其施入时间、肥料品种及施入量都对小麦籽粒产量和品质形成具有重要影响^[1]。目前氮肥施用过程中主要存在氮肥利用率低、环境污染等问题^[2]。20世纪80年代以来控释肥成为国内外研究的热点^[3]。近年来国

内已研制出适合不同作物需要的缓/控释肥,如郑州大学工学院设计生产的钙镁磷肥包裹尿素的缓/控释肥,河南农业大学研制的 ZP 型无机包膜缓/控释肥^[4],以及山东农业大学开发的有机高聚物包膜控释肥等。中国农业大学资源与环境学院研发出以高分子复合性材料为包膜、适合不同作物营养吸收规

* 国家科技支撑计划项目(2007BAD87B-01)资助

** 通讯作者: 张彦才(1956-),男,研究员,主要研究方向为植物营养与施肥。E-mail: zyc_1956@yahoo.com.cn

李若楠(1982-),女,硕士,主要从事植物营养与施肥研究。E-mail: liruonan2004@163.com

收稿日期: 2009-02-13 接受日期: 2009-05-28

律的控释肥料^[5], 并建立了包膜控释肥料在土壤中养分释放特性的测定与评价方法^[6-8]。王丽英等^[9]采用田间小区试验研究了该包膜控释氮肥对冬小麦产量和氮肥利用率的影响。本试验通过盆栽方法研究了不同氮肥追施时期对冬小麦产量和氮肥利用率的影响, 并对中国农业大学开发的新型包膜控释尿素在冬小麦增产和提高氮肥利用率方面展开研究, 以期为该控释尿素在小麦生产上应用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

盆栽试验土壤采自石家庄正定县小麦-玉米轮作田, 土壤类型为壤质石灰性褐土。该土壤理化性质为: 有机质 $16.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全氮 $1.10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 碱解氮 $69.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效磷(P_2O_5) $21.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾(K_2O) $135 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。试验所用普通肥料为尿素(含 N $460 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)、过磷酸钙(含 P_2O_5 $160 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)和氯化钾(含 K_2O $500 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。包膜控释尿素含 N $420 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 控释期分别为 90 d 和 120 d, 由中国农业大学资源与环境学院提供。供试小麦品种为“石新 733”。

1.2 试验方法

利用盆栽试验研究不同氮肥追肥时期、不同肥料品种对冬小麦产量、产量构成及氮肥利用率的影响。试验共设 7 个处理: 对照不施氮肥处理(CK); 40%(4 g, 每盆用量, 下同)普通尿素底施+60%(6 g)普通尿素起身期追施处理(F1); 40%(4 g)普通尿素底施+60%(6 g)普通尿素拔节期追施处理(F2); 40%(4 g)普通尿素底施+60%(6 g)普通尿素拔节后期追施处理(F3); 30%(3 g)普通尿素+35%(3.83 g)控释期 90 d 包膜尿素+35%(3.83 g)控释期 120 d 包膜尿素一次性底施处理(F4); 40%(3 g)普通尿素底施+60%(4.5 g)普通尿素拔节期追施处理(F5); 30%(2.25 g)普通尿素+35%(2.88 g)控释期 90 d 包膜尿素+35%(2.88 g)控释期 120 d 包膜尿素一次性底施处理(F6)。其中 F1、F2、F3、F4 为习惯施 N 量处理, 各处理施 N 量为 4.6 g; F5、F6 处理为减施 N 25% 处理, 各处理施 N 量为 3.45g, 每试验处理设 4 次重复。各处理一次性底施过磷酸钙 $10 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$, 氯化钾 $5 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ 。

盆栽所用塑料盆高 30 cm, 直径 30 cm。将称好的 15 kg 干土与底肥充分混匀后倒入盆中。2006 年 10 月 25 日播种, 每盆播种 19 穴, 每穴播 2 粒, 播种深度 3 cm。在冬小麦整个生育期, 用称重法保持土壤水分分为 16%~23%。起身期、拔节期和拔节后期分别对应时间为 2007 年 3 月 1 日、3 月 15 日和 3 月 30 日。各处理收获期计实产并进行考种。同时取植株样品, 70 ℃ 烘干后研磨成粉备用。盆栽土壤样品自然风干、研磨、过 2 mm 筛备用。将未释放的包膜控释尿素过筛, 冲洗干净、晾干、研碎。籽粒和植株全氮含量采用半微量凯氏定氮法测定, 土壤硝态氮和铵态氮含量采用氯化钾浸提自动流动分析仪测定, 尿素态氮含量采用对二甲氨基苯甲醛分光光度计法测定。数据分析采用 DPS3.0 系统。

1.3 计算方法

土壤无机氮=硝态氮含量+铵态氮含量; 经济系数=籽粒产量/总干物重 $\times 100$; 氮肥利用率(%)=(施氮区吸氮量 - 无氮区吸氮量)/施肥量 $\times 100$; 土壤氮素依存率=空白区植株总吸氮量/施氮区植株总吸氮量; 土壤氮素残留=土壤无机氮含量+尿素态氮含量 - 对照土壤无机氮含量; 氮素表观损失=(氮肥输入+基础土无机氮含量) - (小麦吸收氮素含量+土壤残留无机氮含量)。

2 结果与分析

2.1 氮肥不同追施时期对冬小麦产量和氮肥利用率的影响

表 1 表明, 不同生育期追施氮肥各处理冬小麦有效穗数、穗粒数、千粒重和单穗重差异均未达显著水平; 起身期追施尿素处理(F1)冬小麦有效穗数、千粒重最高, 分别较对照增加 4.48%、9.07%; 拔节期追施尿素处理(F2)冬小麦穗粒数、单穗重均达到最大值, 分别较对照增加 8.50%、12.50%, 冬小麦干物重最高, 显著高于对照, 较对照增加 18.19%, 但与起身期和拔节后期追施尿素处理(F3)差异不显著; 拔节期追施尿素处理小麦产量最高, 显著高于拔节后期追施尿素处理, 而与起身期追施尿素处理差异不显著。拔节期追施尿素处理冬小麦总氮素吸收量

表 1 不同氮肥追肥时期对冬小麦产量构成及氮肥利用率的影响

Tab. 1 Influence of different nitrogen topdressing times on wheat yield components and apparent N recovery rates

| 处理 Treatment | 有效穗数(穗·盆 ⁻¹) Effective spike number per pot | 穗粒数 Grain number per spike | 千粒重 1000-kernel weight (g) | 单穗重 Single spike weight (g) | 干物重 Dry weight (g·pot ⁻¹) | 产量 Yield (g·pot ⁻¹) | 总氮素吸收 Nitrogen uptake (g·pot ⁻¹) | 氮肥利用率 Apparent N recovery rate (%) |
|-----------------|--|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--|------------------------------------|---|---------------------------------------|
| CK | 33.50a | 22.93a | 40.13a | 1.28a | 65.76b | 30.64b | 0.74b | — |
| F1 | 35.00a | 22.19a | 43.77a | 1.42a | 76.40a | 33.66ab | 1.71a | 21.14 |
| F2 | 34.50a | 24.88a | 41.24a | 1.44a | 77.72a | 35.29a | 1.80a | 23.20 |
| F3 | 34.25a | 21.51a | 42.83a | 1.40a | 72.96a | 31.53b | 1.69a | 20.77 |

同列不同小写字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著, 下同。Different small letters in the same column show significant difference at 0.05 level. The same below.

最多, 起身期其次, 拔节后期最少, 但 3 个处理间差异不显著; 拔节期追施尿素处理氮肥利用率最高, 达 23.20%。可见, 冬小麦拔节期追施尿素较适合小麦的生长发育需求, 此时其总氮素吸收量最多, 肥料利用率最高; 拔节期追施尿素通过提高穗粒数和单穗重来增加产量。

2.2 包膜控释尿素对冬小麦产量、氮肥利用率和氮素残留的影响

2.2.1 对冬小麦产量及其构成的影响

表 2 表明, 减施 N 25% 条件下普通尿素处理(F5)有效穗数最多, 较对照增加 4.48%, 但与其他处理相比差异未达显著水平; 减施 N 25% 条件下包膜控释尿素与普通尿素配合施用处理(F6)穗粒数最多, 较对照增加 11.38%, 但与其他处理相比差异未达显著水平; 习惯施氮量条件下包膜控释尿素与普通尿素配合施用处理(F4)千粒重最高, 显著高于对照和减施 N 25% 条件下各处理, 与习惯施氮量条件下普通尿素处理(F2)差异不显著; 习惯施氮量条件下包膜控释尿素与普通尿素配合施用单穗重最高, 显著高于对照, 但与其他施氮处理差异不显著。

包膜控释尿素对冬小麦干物质积累和产量的影响表明(表 2): 习惯施氮量条件下普通尿素处理干物质积累最多, 显著高于对照和减施 N 25% 条件下各处理, 分别较 CK、F5、F6 处理增加 18.19%、8.73% 和 10.13%; 习惯施氮量条件下包膜控释尿素与普通尿素配合施用处理产量最高, 显著高于对照和减施 N 25% 条件下各处理, 分别较 CK、F5、F6 处理增加 20.95%、14.99% 和 11.69%; 从经济系数分析, 习惯施氮量条件下各处理经济系数高于减施 N 25% 条件下各处理, 其中以习惯施氮量条件下包膜控释尿素与普通尿素配合施用处理经济系数最高。可见, 减

少氮肥施用后, 影响了冬小麦千粒重和单穗重, 从而使产量和经济系数降低; 在习惯施氮量条件下, 包膜控释尿素与普通尿素配合施用氮素释放更符合冬小麦全生育期对氮素的需求, 因此效果最好。

2.2.2 对冬小麦成熟期植株氮素积累、氮肥利用率和土壤依存率的影响

表 3 表明, 施用氮肥各处理冬小麦成熟期植株总氮素吸收量、籽粒中氮素吸收量和营养器官中氮素吸收量均极显著高于对照处理。习惯施氮量条件下包膜控释尿素与普通尿素配合施用处理总氮素吸收量和籽粒中氮素吸收量最高, 显著高于减施 N 25% 条件下普通尿素处理, 与习惯施氮量条件下普通尿素处理和减施 N 25% 条件下包膜控释尿素与普通尿素配合施用处理间差异不显著。减施 N 25% 条件下各处理氮肥利用率高于习惯施氮量条件下各处理, 其中包膜控释尿素与普通尿素配合施用处理氮肥利用率较普通尿素处理高。包膜控释尿素与普通尿素配合施用处理土壤氮依存率降低。可见, 减少氮肥施用明显影响籽粒中氮素的吸收, 而包膜控释尿素与普通尿素配合施用较适合冬小麦对氮素的需求, 其通过增加氮素在籽粒中的分配来提高产量。

2.2.3 对冬小麦成熟期土壤氮素残留和表观损失的影响

包膜控释尿素对冬小麦成熟期土壤氮素残留和表观损失研究表明(表 4): 施用氮肥各处理土壤硝态氮和无机氮含量高于对照处理; 减施 N 25% 条件下各处理土壤硝态氮和无机氮含量较习惯施氮量各处理低, 而施用普通尿素各处理土壤铵态氮含量较包膜控释尿素与普通尿素配合施用处理高; 包膜控释尿素与普通尿素配合施用各处理土壤残留氮显著高于施用普通尿素各处理, 而包膜控释尿素与普通尿

表 2 包膜控释尿素对冬小麦产量及其构成因素的影响

Tab. 2 Effect of controlled-release coated urea on wheat yields and its components

| 处理号 Treatment | 有效穗数 (穗·盆 ⁻¹) Effective spike number per pot | 穗粒数 Grain number per spike | 千粒重 1000-kernel weight (g) | 单穗重 Single spike weight (g) | 干物重 Dry weight (g·pot ⁻¹) | 产量 Yield (g·pot ⁻¹) | 经济系数 Economic coef- ficient (%) |
|------------------|--|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| CK | 33.50a | 22.93a | 40.13b | 1.28b | 65.76d | 30.64c | 46.59 |
| F2 | 34.50a | 24.88a | 41.24ab | 1.44ab | 77.72a | 35.29ab | 45.40 |
| F4 | 33.25a | 25.48a | 43.98a | 1.60a | 76.70ab | 37.06a | 48.32 |
| F5 | 35.00a | 22.99a | 40.29b | 1.39ab | 71.48bc | 32.23bc | 45.09 |
| F6 | 34.00a | 25.54a | 39.11b | 1.45ab | 70.57cd | 33.18bc | 47.02 |

表 3 包膜控释尿素对冬小麦成熟期植株氮素积累和氮肥利用率的影响

Tab. 3 Effect of controlled-release coated urea on plant total N accumulation and apparent N recovery rates in winter wheat maturing stage

| 处理 Treatment | 总氮素吸收量 Total N accumulation (g·pot ⁻¹) | 籽粒中氮素吸收量 Kernel N accumulation (g·pot ⁻¹) | 营养器官氮素吸收量 Vegetative organs N accumulation (g·pot ⁻¹) | 氮肥利用率 Apparent N recovery rate (%) | 土壤氮依存 Soil N dependent rate (%) |
|-----------------|--|---|---|--|---------------------------------------|
| CK | 0.74c | 0.60c | 0.13b | — | — |
| F2 | 1.80a | 1.34ab | 0.46a | 23.20 | 40.83 |
| F4 | 1.91a | 1.49a | 0.42a | 25.57 | 38.50 |
| F5 | 1.65b | 1.18b | 0.47a | 26.40 | 44.70 |
| F6 | 1.79a | 1.37ab | 0.42a | 30.55 | 41.13 |

表 4 包膜控释尿素对冬小麦成熟期土壤氮素残留和表观损失的影响

Tab. 4 Effect of controlled-release coated urea on soil residual N and soil apparent N loss in winter wheat maturing stage

| 处理 Treatment | 硝态氮 NO ₃ ⁻ -N (mg · kg ⁻¹) | 铵态氮 NH ₄ ⁺ -N (mg · kg ⁻¹) | 土壤无机氮 Soil inorganic N (mg · pot ⁻¹) | 土壤残留氮 Soil residual N (mg · pot ⁻¹) | 氮素表观损失 Soil apparent N loss (mg · pot ⁻¹) |
|-----------------|--|--|--|---|---|
| CK | 78.15 | 255.60 | 333.75 | — | — |
| F2 | 384.83 | 233.18 | 618.00 | 284.25 | 3 207.78 |
| F4 | 388.43 | 250.28 | 638.70 | 1 592.95 | 1 789.87 |
| F5 | 275.40 | 217.88 | 493.28 | 159.53 | 2 338.84 |
| F6 | 216.83 | 275.93 | 492.75 | 1 125.00 | 1 230.34 |

素配合施用各处理土壤氮素表观损失显著低于施用普通尿素各处理。上述结果说明,包膜控释尿素与普通尿素配合施用可较好地保持土壤肥力,减少由于土壤氮素损失而造成的环境污染。

3 结论与讨论

有研究显示,氮肥追施时期对小麦产量和品质具有显著影响^[10]。在相同氮肥施用量条件下,追肥时期对小麦体内代谢和产质形成具有明显调节作用^[11]。本研究表明,在拔节期追施尿素有效提高了小麦的穗粒数,使小麦产量达到最高值,与起身期追施尿素相比增产 4.84%,与拔节后期追施尿素相比增产 11.93%,且氮肥利用率达到最高水平。这与潘庆民等^[12]和郭平银等^[13]的研究一致,主要与拔节期追施氮肥可以充分提供籽粒淀粉充实所需的养分有关^[14]。

施用氮肥对小麦产量有显著影响^[15-17]。本研究结果表明,施用氮肥后小麦产量明显提高。在习惯施氮量条件下,30%普通尿素+35%控释期 90 d 包膜尿素+35%控释期 120 d 包膜尿素一次性底施比 40%普通尿素底施+60%普通尿素拔节期追施小麦产量提高 5.02%,经济系数提高 6.43%;对应在减施氮 25%条件下,30%普通尿素+35%控释期 90 d 包膜尿素+35%控释期 120 d 包膜尿素一次性底施比 40%普通尿素底施+60%普通尿素拔节期追施增产 2.95%,经济系数提高 4.28%。这主要是因为小麦开花至灌浆成熟期土壤氮磷养分的充足供应对增加粒重十分重要^[18]。对于普通尿素而言,施入土壤后养分在短期内迅速释放,到灌浆成熟期土壤中的氮素已经降至较低水平;包膜尿素氮素释放具有缓释和控释的效果,能保证在冬小麦整个生育期氮素供应都较为充足,配合普通尿素一起施用还降低了成本,经济效益较好。

在习惯施氮量条件下,30%普通尿素+35%控释期 90 d 包膜尿素+35%控释期 120 d 包膜尿素一次性底施通过提高千粒重和单穗重来提高小麦产量;在减施氮 25%条件下,30%普通尿素+35%控释期 90 d 包膜尿素+35%控释期 120 d 包膜尿素一次性底施则通过维持穗粒数来保证产量。

综合本研究结果看,30%普通尿素+35%控释期 90 d 包膜尿素+35%控释期 120 d 包膜尿素 1 次性底施与 40%尿素底施+60%尿素拔节期追施相比,小麦

植株氮素总吸收量增加 6.11%,对应在减氮条件下增加 8.48%;小麦籽粒产量同步提高,氮肥利用率得以改善。包膜控释尿素的施用还有效降低了土壤氮素的表观损失,可保持土壤肥力,减少氮素对环境的污染。说明包膜控释尿素与普通尿素配合施用,氮肥释放可较好地与小麦对氮肥的吸收规律相吻合;30%普通尿素+35%控释期 90 d 包膜尿素+35%控释期 120 d 包膜尿素一次性底施能够较好地适应小麦对氮素的需求。

参考文献

- [1] 韩新文, 杨淑萍, 张睿, 等. 氮肥与硫肥施用对相同 HMW-GS 组分春小麦产量与品质的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(1): 280-285
- [2] 张民, 史衍玺, 杨守祥, 等. 控释和缓释肥的研究现状与进展[J]. 化肥工业, 2001, 28(5): 27-30
- [3] 汪强, 李双凌, 韩燕来, 等. 缓/控释肥对小麦增产与提高氮肥利用率的效果研究[J]. 土壤通报, 2007, 38(4): 693-696
- [4] 王新民, 侯彦林, 介晓磊, 等. 冬小麦施用控释氮肥增产效应研究初报[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(2): 98-101
- [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
- [6] 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
- [7] 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
- [8] 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
- [9] 王丽英, 张彦才, 王凯辉, 等. 包膜控释尿素对冬小麦产量和氮肥利用率的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(增刊): 197-200
- [10] 叶优良, 韩燕来, 王文亮, 等. 高产小麦氮肥施用研究进展[J]. 中国农学通报, 2006, 22(9): 264-267
- [11] 毛凤梧, 赵会杰, 段藏禄. 追氮时期对优质小麦产量和品质的影响[J]. 河南农业科学, 2001(11): 19-20
- [12] 潘庆民, 于振文. 追氮时期对冬小麦籽粒品质和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2002, 22(2): 65-69
- [13] 郭平银, 李士平, 祁士军. 追氮时期对不同类型小麦籽粒产量和品质影响[J]. 德州学院学报, 2007, 23(4): 43-48
- [14] 张学林, 郭天财, 朱云集, 等. 追氮时期对两种筋型小麦淀粉糊化特性的影响[J]. 华北农学报, 2005, 20(3): 79-82
- [15] 马新明, 张娟娟, 熊淑萍, 等. 氮肥用量对不同品质类型小麦品种籽粒灌浆特征和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(6): 72-77
- [16] 苗艳芳, 常爱芬, 张会民, 等. 氮肥分配比例对小麦产量及群体质量的影响[J]. 麦类作物, 1999, 19(4): 43-45
- [17] 蒋家慧. 氮肥运筹对小麦碳素同化、运转和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2004, 24(3): 69-72
- [18] 李世清, 邵明安, 李紫燕. 小麦籽粒灌浆特征及影响因素的研究进展[J]. 西北植物学报, 2003, 23(11): 2031-2039