

普通肥、控释掺混肥分层施肥对小麦生长的影响

梁海^{1,2}, 陈宝成^{1,2}, 韩慧芳¹, 王少博¹, 王桂伟^{1,2}, 陈剑秋³

(1. 土肥资源高效利用国家工程实验室, 山东 泰安 271018; 2. 山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018; 3. 养分资源高效开发与综合利用国家重点实验室, 金正大生态工程集团股份有限公司, 山东 临沭 276000)

摘要: 为了研究不同层次施肥对土壤养分及作物生长的影响, 通过小麦盆栽试验, 以农民习惯施肥(普通肥撒施后翻耕)为对照, 设置不施肥、控释掺混肥混施、普通肥1层施肥加追肥、普通肥和控释掺混肥各1层(深度5 cm)、2层(5, 10 cm)、3层(5, 10, 15 cm)施肥处理, 筛选出普通肥、控释掺混肥各自最优的施肥层次, 为田间分层施肥特别是目前农业推广的种肥同播技术提供支持。结果表明: 与对照相比, 普通肥1层、2层施肥处理显著增产14.02%和15.83%; 普通肥两层施肥处理小麦生物量显著增加13.44%; 控释掺混肥2层、3层施肥相比控释掺混肥混施处理显著增产7.47%和5.55%, 小麦生物量差异不显著。小麦各个生长期的氮素供应普通肥以1层施肥或2层施肥为好, 而控释掺混肥以2层施肥或3层施肥为好; 不同处理的土壤有效磷、速效钾含量差异不显著。普通肥分层施肥处理氮肥利用率比对照分别提高44.4%、40.7%和62.9%, 磷肥利用率分别提高35.7%、64.3%和42.8%, 钾肥利用率分别提高16.7%、33.3%和53.3%, 差异均达显著水平; 而控释掺混肥各处理氮、钾肥利用率差异不显著, 磷肥利用率则分别显著提高35.0%、30.0%和35.0%。在农业生产中, 建议普通肥以2层(深度5, 10 cm)施肥, 控释掺混肥以2层(5, 10 cm)或3层(5, 10, 15 cm)施肥的方式进行施肥。

关键词: 分层施肥; 土壤养分; 小麦; 产量; 肥料利用率

中图分类号: S147.24; S512.1⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)04-0240-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.04.038

Effects of Layered Application of Common Fertilizer and Controlled-release Bulk-blend Fertilizer on Wheat Growth

LIANG Hai^{1,2}, CHEN Baocheng^{1,2}, HAN Huifang¹, WANG Shaobo¹, WANG Guiwei^{1,2}, CHEN Jianqiu³

(1. National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer, Tai'an, Shandong 271018; 2. College of Resource and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018; 3. State Key Laboratory of Nutrition Resources Integrated Utilization, Shandong Kingenta Ecological Engineering Co., Ltd., Linshu, Shandong 276000)

Abstract: A wheat pot experiment was conducted to study the effects of different fertilization layers on soil nutrients and crop growth. The local farmer's customary fertilization (tillage after topsoil fertilization) was taken as control, and the following treatments was set: no fertilizer application, controlled-release bulk-blend fertilizer topsoil fertilization then tillage, one layer fertilization and topdressing of common fertilizer, common fertilizer layered fertilization and controlled-release bulk-blend fertilizer layered fertilization. The fertilization layers treatments included: one layer (5 cm), two layers (5 and 10 cm) and three layers (5, 10 and 15 cm). The aim was to select the optimal fertilization layers of common fertilizer and controlled-release bulk-blend fertilizer respectively, and to provide the theoretical support for the technology of layered fertilization, especially for the technology of sowing and fertilization at the same time which is popularized now. The results showed that compared with the topsoil fertilization of common bulk-blend fertilizer, the wheat yield was increased by 14.02% and 15.83% significantly under one layer and two layers fertilization of common fertilizer, respectively, and the biomass was significantly increased by 13.44% under two layers fertilization of common fertilizer. Compared with controlled-release bulk-blend fertilizer fertilization, the yield of two layers and three layers fertilization of controlled-release bulk-blend fertilizer was significantly increased by

收稿日期: 2018-02-03

资助项目: 国家“十三五”重点研发计划项目“纳米复合包膜缓控释掺混肥料研制与应用”(2017YFD0200705); 农业部公益性行业(农业)科研专项“水浇地合理耕层构建技术指标研究”(201503117)

第一作者: 梁海(1994—), 男, 硕士研究生, 主要从事土肥资源管理与高效利用研究。E-mail: 516634429@qq.com

通信作者: 陈宝成(1969—), 男, 副教授, 主要从事土肥资源管理与高效利用研究。E-mail: bcch108205@163.com

7.47% and 5.55% respectively, but the biomass was increased insignificantly. The nitrogen supplying of one layer and two layers of common fertilizer fitted better with every wheat growing stage than other treatments, and two and three layers fertilization of controlled-release bulk-blend fertilizer better than other controlled-release bulk-blend layered fertilization. The contents of available phosphorus and available potassium were not significant among different treatments. Compared with the topsoil fertilization of common fertilizer, the nutrient use efficiency of common fertilizer layered fertilization was significantly increased by 44.4%, 40.7% and 62.9% (nitrogen), 35.7%, 64.3% and 42.8% (phosphorus) and 16.7%, 33.3% and 53.3% (potassium), respectively. But compared with the topsoil fertilization of controlled-release bulk-blend fertilizer, only the phosphorus use efficiency of controlled-release bulk-blend fertilizer layered fertilization was increased significantly by 35.0%, 35.7%, and 35.0% respectively. So, it was suggested that two layers (5 and 10 cm) fertilization of common fertilizer, two layers (5 and 10 cm) or three layers (5, 10 and 15 cm) fertilization of controlled-release bulk-blend fertilizer should be practiced in agricultural production.

Keywords: layered fertilization; soil nutrition content; wheat; yield; utilization rate of fertilizer

小麦是中国主要的粮食作物之一,增加小麦产量对中国粮食安全意义重大。小麦高产稳产则需要科学合理的施肥作为前提。施肥为作物种植的关键环节,肥料的施用量、施肥深度及比例都会关系到作物的最终产量及肥料的利用率^[1-2]。传统施肥模式多为基施底肥加追肥,且农民追肥多为表面撒施,难以保证作物各生长时期的营养需求,且肥料的利用率不高,如不能及时浇水,肥料的肥效难以到达作物根部以供吸收,造成肥料浪费和面源污染。据研究^[3-6]表明,氮肥深施可使作物产量及肥料利用率提高,氮肥深施使肥料利用率提高了15%~20%,因为氮肥深施可减少氨的挥发与径流损失^[7-8],并且当复合肥施用深度为20 cm时比土表撒施与10 cm施用径流总氮浓度明显减少,对比土表撒施径流总磷浓度有明显减少^[9];石岩等^[10]研究表明,施肥深度对旱地小麦氮素利用率及产量的影响,20—40 cm的层次施用可提高氮肥的利用率,张永清等^[11]研究认为,小麦施肥深度10—30 cm有利于小麦根系对较深层次土壤养分的吸收。肥料深施可能由于在作物生长前期浅层土壤肥效不足而影响其生长,导致苗弱的现象,进而影响作物后期生长及产量。为改善肥料在作物根部的空间分配,更好的发挥肥效,提出了分层施肥的方法。也有研究^[12-14]认为,一次性分层施肥的效果相较于一次性浅层基施与深施的效果更好,分层施肥方式改善了传统肥料在土表施用造成的“上肥下瘦”现象,可促进根系下扎,增加作物吸收养分的能力,提高作物产量。分层施肥涉及到了肥料的种类问题,目前缓控释掺混肥施肥研究是热点,有关研究^[15]表明,一次基施控释尿素比普通尿素氮素利用率提高了6.18%~11.57%,增产10.03%~11.17%。邹忠君^[16]研究认为硫包衣控释尿素一次性分层基施肥料在垄内空间分配合理且可持续供应氮素,从而满足作物生育期对

养分的需求。有另外的相关试验也进行了控释肥施用深度的研究^[17],并且表明了控释尿素于玉米种下15 cm施用能提高其干物质质量、氮素的农学利用效率及水分利用效率。

随着种肥同播农业机械的普及推广,以及对提高肥料利用率、减少资源浪费和面源污染的重视,对于分层施肥还是不分层施肥、分几层施肥为好,业内存在较大争议,对这些方面的研究特别是控释掺混肥分层施肥效果的研究还极少。针对目前有关分层施肥研究不够全面系统、效果也存在不确定性的情况,本试验研究普通复合肥、缓控释掺混肥不同层次、不同层次肥料比例等施肥方式对小麦生长、养分供应及肥料利用率等方面的影响,探求普通复合肥、缓控释掺混肥合理科学的分层施肥层次深度及肥量配比,为分层施肥技术结合机械分层施肥农机,特别是机械种肥同播技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2016年在山东省泰安市山东农业大学“土肥资源高效利用国家工程试验室”试验站(36°20'N, 117°13'E)进行。盆栽所用栽培盆为陶土盆,上口径38 cm,高50 cm,栽培用土为筒育湿润淋溶土(普通棕壤,所有土壤在装盆前进行了过1 cm筛,然后充分混匀,以备装盆),土质为中壤土,硝态氮含量72 mg/kg,铵态氮含量18.9 mg/kg,速效钾含量92.2 mg/kg,速效磷含量23.2 mg/kg,全氮含量0.64 g/kg,有机质含量12.1 g/kg, pH 6.95(水土比2.5:1)。供试小麦品种为济麦22,生育期240天左右。供试肥料为树脂包膜控释尿素(含N 43%,控释期3个月)、普通尿素(含N 46%)、过磷酸钙(含P₂O₅ 16%)、氯化钾(含K₂O 60%)。

1.2 试验设计

试验为盆栽试验,每个陶盆均装入混匀的30 kg

土,土表面积约 0.1 m^2 。

试验共设 10 个处理:处理 1 为不施肥(CK);处理 2(CCFH)为 50%氮肥和全部磷钾肥做基肥,表面撒施后翻耕 0—15 cm(混施),剩余的 50%氮肥做 2 次追肥,其中返青期占 20%,孕穗期占 30%,追肥方式为表面撒施后浇水;处理 3(CRFH)为控释掺混肥全部表面撒施后翻耕 0—15 cm(混施);处理 4(CCFZ1)为 50%氮肥和全部磷钾肥做基肥,施肥深度 10 cm,剩余的 50%氮肥做 2 次追肥,其中返青期占 20%,孕穗期占 30%,追肥方式为表面撒施后浇

水;处理 5(CCF1)、处理 6(CCF2)、处理 7(CCF3)为普通肥分层施肥,处理 8(CRF1)、处理 9(CRF2)、处理 10(CRF3)为控释掺混肥分层施肥,分层施肥(称量敦实状态的土重,尺量土重对应的土层厚度,装盆时按土重进行,分层施肥的土层厚度为土表距离肥料的高度,在填土到相应的高度后将肥料施入,覆土,最后播种)各处理的层次分别为 1 层(5 cm)、2 层(5, 10 cm)、3 层(5, 10, 15 cm),其全部肥料做基肥一次施入;每盆均匀播种 70 粒,覆土 2 cm。每个处理重复 4 次。具体各层次施肥比例见表 1。

表 1 试验施肥处理

序号	代号	说明	施肥量 $\text{N}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O}/$ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	施肥 深度/cm	施肥比例
1	CK	不施肥	0—0—0	—	—
2	CCFH	普通肥混施	330—225—165	0~15	50%基+返青期 20%追+孕穗期 30%追
3	CRFH	控释掺混肥混施	330—225—165	0~15	100%基
4	CCFZ1	普通肥 1 层基肥加追肥	330—225—165	10	50%基+返青期 20%追+孕穗期 30%追
5	CCF1	普通肥基肥 1 层施肥	330—225—165	10	100%
6	CCF2	普通肥基肥 2 层施肥	330—225—165	5 10	40%, 60%
7	CCF3	普通肥基肥 3 层施肥	330—225—165	5 10 15	30%, 30%, 40%
8	CRF1	控释掺混肥基肥 1 层施肥	330—225—165	10	100%
9	CRF2	控释掺混肥基肥 2 层施肥	330—225—165	5 10	40%, 60%
10	CRF3	控释掺混肥基肥 3 层施肥	330—225—165	5 10 15	30%, 30%, 40%

1.3 样品采集与测定

取样时期:苗期(2016 年 11 月 20 日)、返青期(2017 年 3 月 12 日)、开花期(2017 年 5 月 5 日)、成熟期(2017 年 6 月 4 日)分别采集 0—20 cm 层次的土壤,收获期收取地上部分,实打实收测定小麦生物量和籽粒产量。

土壤样品及植株样品测定:土壤速效氮测定采用风干土样,以 0.01 mol/L 的 CaCl_2 溶液浸提(水土比 10:1), $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 采用流动注射分析仪(SEAL, AA3, 德国)测定,两者之和为土壤速效氮含量;土壤有效磷含量采用 0.5 mol/L NaHCO_3 浸提—钼蓝比色法测定;土壤速效钾含量采用 $\text{pH} 7.0$ 醋酸铵浸提—火焰光度计法测定。植株样品分为籽粒与秸秆,样品全氮、全磷、全钾含量采用 $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$ 联合消煮法测定^[18]。

肥料利用率=(施肥处理作物吸收量—空白作物吸收量)/施肥量 $\times 100\%$

1.4 数据处理

试验数据采用 SAS 8.0 与 Excel 2017 软件进行处理、统计分析及作图。

2 结果与分析

2.1 不同施肥层次对小麦产量的影响

普通肥分层处理及控释掺混肥分层处理对冬小麦产量及产量构成因素有着不同程度的影响(表 2)。普通肥分层各处理与 CCFH 相比,均不同程度提高了小麦生物量和籽粒产量,其中普通肥 CCF1、CCF2 处理籽粒产量较高,显著高于其他普通肥各处理,CCF2、CCFZ1 较 CCFH 处理籽粒产量分别增加了 15.8%, 14.02%, 也显著高于 CCFZ1、CCF3 处理,但 CCF1、CCF2 处理之间差异不显著;普通肥各处理地上部生物量中以 CCF2 处理最高,比 CCFH、CCF3 处理分别增加 13.44%, 16.2% 均达显著水平,CCF2 处理比 CCF1 虽有增产效果,但差异不显著。控释掺混肥各分层处理小麦籽粒产量有不同程度的提高,分别比 CRFH 增产 1.11%, 7.47% 和 5.55%, 其中 CRF2、CRF3 处理与 CRF1、CRFH 处理差异显著,而 CRF2 与 CRF3 之间以及 CRF1 与 CRFH 之间差异不显著;控释掺混肥各分层处理小麦生物量分别比 CRFH 增产 4.56%, 5.66% 和 5.97%, 但各处理差异

不显著;另外,在总施肥量相同条件下,普通肥混施加表面追肥或1层施肥加表面追肥,小麦产量均低于全肥基施。所以,小麦施肥不提倡土壤表面撒施然后浇水的追肥方式。

普通肥分层处理中 CCF2、CCF3、CCFZ1 千粒重显著高于 CCFH;控释掺混肥分层处理 CRF1 千粒重

显著高于 CRFH。普通肥分层各处理有效穗数以 CCFH 最高,差异达显著水平,其他处理间差异不显著。控释掺混肥分层各处理间有效穗数差异总体不显著。综上可得,与混施施肥方式相比,普通肥以 5、10 cm 两层施肥为最佳,控释掺混肥以 5、10 cm 2 层施肥或 5、10、15 cm 3 层施肥为最佳。

表 2 不同施肥处理下冬小麦产量及产量构成因素

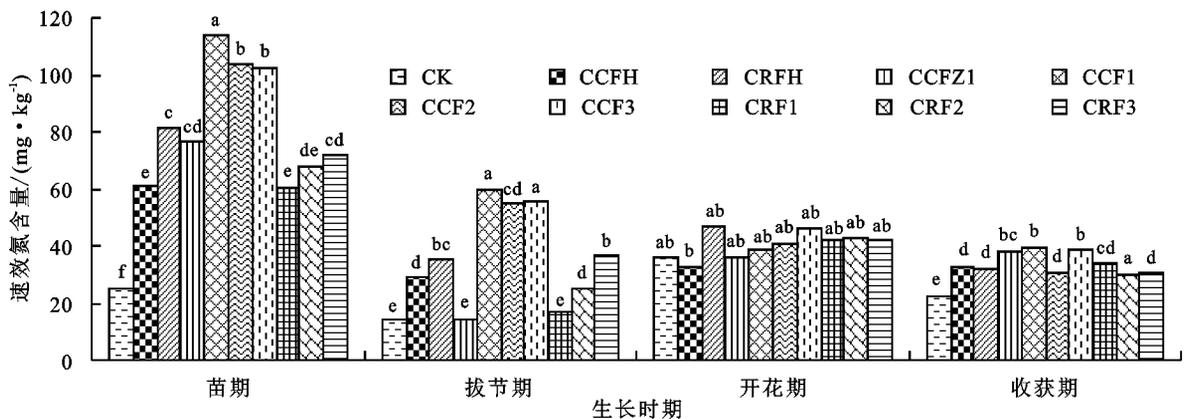
处理	地上部生物量/ (kg·hm ⁻²)	籽粒产量/ (kg·hm ⁻²)	千粒重/ g	有效穗数/ (10 ⁴ hm ⁻²)	生物量较混施 (CCFH\CRFH)增产率/%	籽粒产量较混施 (CCFH\CRFH)增产率/%
CK	15535.8c	6375.6e	51.84ab	376.9c	—	—
CCFH	22607.0b	9310.7d	44.69c	607.5a	—	—
CRFH	22572.6ab	9769.05cd	48.26bc	570.9ab	—	—
CCFZ1	22934.0ab	9410.7d	51.31ab	492.2b	1.44	1.07
CCF1	24307.8ab	10616.9ab	48.48bc	586.1a	7.52	14.02
CCF2	25646.6a	10785.2a	52.76ab	507.4b	13.44	15.83
CCF3	24237.7b	9434.4cd	50.41ab	521.4ab	7.21	1.32
CRF1	23602.0ab	9877.4c	53.69a	493.3b	4.56	1.11
CRF2	23852.0ab	10498.9ab	50.58ab	518.6ab	5.66	7.47
CRF3	23922.1b	10312.2b	51.26ab	515.8ab	5.97	5.55

注:同一列中的平均数值采用邓肯多重比较,标有相同字母的表示差异不显著($P<0.05$)。下同。

2.2 不同施肥处理对土壤速效氮含量的影响

从图 1 可以看出,小麦苗期土壤速效氮含量总体高于其他生长时期,原因是苗期氮素吸收和损失的较少,留在土壤中的较多;苗期普通肥分层处理中土壤速效氮含量为 CCF1 > CCF2 > CCF3 > CCFZ1 > CCFH,其中以 CCF1 处理最高,且显著高于其他处理,原因是 CCF1 处理全部氮肥一次施入,且深度最浅,为 5 cm,相对氮素向下迁移的较少;CCFH 处理土壤速效氮含量最低,且显著低于其他处理,原因是 CCFH 处理氮肥分基肥和追肥,苗期采样时还没有追肥,所有速效氮含量较低;普通肥处理苗期氮素含量高于控释掺混肥处理,原因是普通肥养分释放快,而

控释掺混肥氮素养分释放慢的结果;小麦苗期控释掺混肥分层处理中 CRF3 > CRF2 > CRF1,原因是越靠近土壤表层,土壤含水量越低,影响了控释氮素的养分释放。进入小麦拔节期,随着养分吸收和迁移,各处理间土壤速效氮含量均有较大幅度下降,普通肥分层施肥处理土壤含氮量基本是随着施肥层次的增加,土壤速效氮有所减少,而控释肥分层处理是随着施肥层次增加而增加;小麦开花期和收获期,除了空白处理,其他处理速效氮含量保持平稳状态,大都差异不显著。总体上,在小麦整个生长时期,普通肥处理氮素供应以施肥层次 1 层或 2 层为好,而控释肥处理以施肥层次 2 层或 3 层为好。



注:不同字母表示各生育期不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

图 1 各处理不同生育期土壤速效氮含量

2.3 不同施肥处理对土壤有效磷含量的影响

从图 2 可以看出,施肥处理土壤有效磷都高于空白处理;由于磷在土壤中的迁移性较差,不同施肥方式及施肥层次对土壤磷含量有些影响,但在 0—20 cm 土层范围内,土壤有效磷含量的绝对值差别不大,

基本在 28~35 mg/kg,虽然个别处理土壤的有效磷含量显著性方差分析表现差异显著,可能是采样偶然误差造成的。在小麦开花期和收获期,普通肥分层施肥处理中随着施肥层次增加,其土壤有效磷含量呈现降低趋势,而控释掺混肥处理则基本呈增加趋势,但

差异不显著。总体分析,不同层次施肥对土壤有效磷

含量基本没有影响。

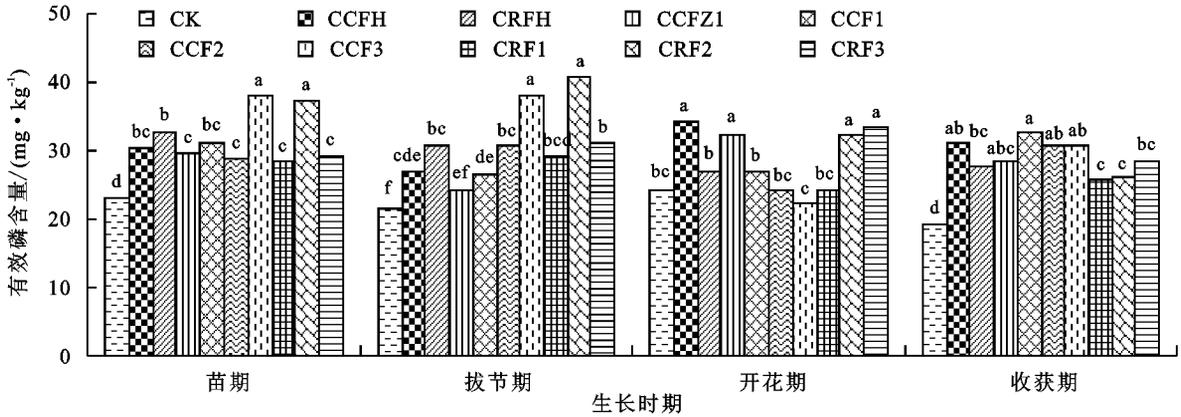


图 2 各处理不同生育期土壤有效磷含量

2.4 不同施肥处理对土壤速效钾含量的影响

从图 3 可以看出,冬小麦苗期普通肥各分层处理对比 CCFH 土壤速效钾含量差异不显著,各分层处理间差异大都亦不显著,控释掺混肥各分层处理土壤速效钾含量皆显著低于 CRFH,且各分层处理间土壤速效钾含量差异不显著,土壤速效钾含量基本在 120~135 mg/kg。拔节期各处理间土壤速效钾含量均有不同幅度的下降,基本在 100 mg/kg,普通肥及控释掺混肥各处理间差异

不显著。小麦开花期普通肥分层处理中 CCF3 土壤速效钾含量显著低于 CCFH,表明此时期 CCF3 处理小麦吸收土壤钾量大于 CCFH 处理,而各分层处理间差不显著,含量大都在 90 mg/kg;控释掺混肥处理各处理间土壤速效钾含量也差异不显著。小麦收获期各处理土壤速效钾在 80 mg/kg,各处理间含量差异均不显著。综合分析得出,不同层次施肥对土壤速效钾含量没有显著影响。

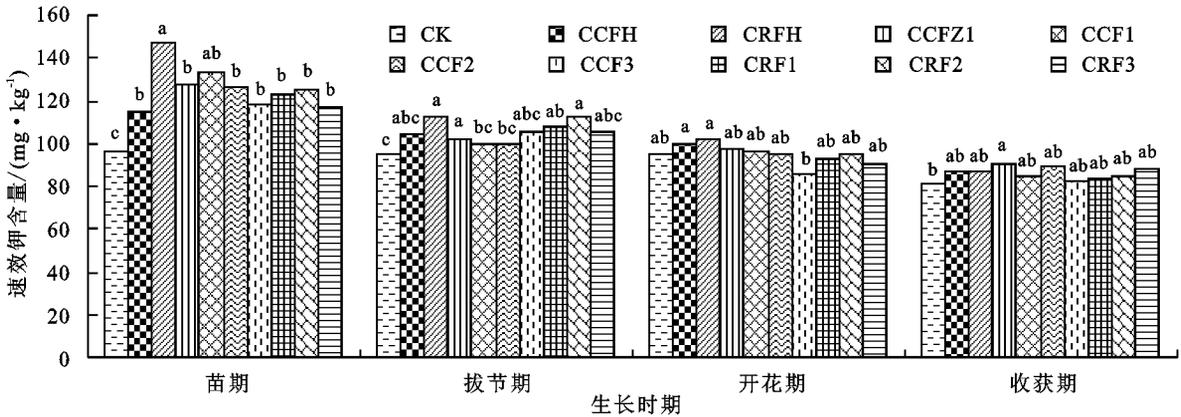


图 3 各处理不同生育时期土壤速效钾含量

2.5 不同分层施肥方式对小麦氮磷钾肥料利用率的影响

施肥方式和肥料种类影响作物对养分的吸收和利用。测定不同处理的小麦对氮磷钾养分的吸收量,计算各施肥方式氮磷钾肥的利用率。从表 3 可以看出,普通肥和缓控释掺混肥不同施肥层次处理比混施处理,普遍提高了小麦氮磷钾的吸收量。普通肥分层处理中 CCF3、CCF1 和 CCF2 相较于 CCFH 氮素积累量分别增加了 17%,11%和 12%,其中 CCF3 处理达到显著水平,CCF1、CCF2、CCFH 处理间差异不显著;控释掺混肥各分层处理氮素在小麦体内的积累量较 CFRH 也不同程度地提高,其中 CRF3、CRF2 处理增加了 10.65%和 6.51%。普通肥分层与控释掺混肥分层各处理磷、钾素积累量差异均不显著。分层施肥处理不同程度提高了氮磷钾肥料的利用

率。普通肥分层处理中 CCF3、CCF1 和 CCF2 处理的氮素利用率 38%~44%,比 CCFH 分别提高了 44.4%,40.7%和 62.9%,差异达到显著水平;控释掺混肥氮素利用率虽有所增加,但各处理差异不显著,其氮肥利用率均为 36%~43%。普通肥分层处理 CCF1、CCF2 和 CCF3 磷肥利用率为 19%~23%,比 CCFH 显著提高了磷肥利用率,分别增加了 35.7%,64.3%和 42.8%;控释掺混肥分层处理 CRF1、CRF2 和 CRF3 磷肥利用率为 26%~27%,比 CRFH 显著增加了 35.0%,30.0%和 35.0%;普通肥分层处理 CCF1、CCF2 和 CCF3 钾肥利用率为 35%~46%,比 CCFH 显著增加了 16.7%,33.3%和 53.3%;控释掺混肥各分层处理 CRF1、CRF2 和 CRF3 钾肥利用率为 44%~45%,与 CRFH 的钾肥利用率差异不显著。

表3 不同施肥处理养分吸收总量及肥料利用率

处理	养分吸收总量/(kg·hm ⁻²)			肥料利用率/%		
	N	P	K	N	P	K
CK	181.57d	100.16d	163.47b	—	—	—
CCFH	339.80b	150.07bc	289.57a	27c	14d	30c
RFH	338.14b	160.44abc	322.65a	36ab	20bcd	41a
CCFZ1	300.04c	140.79c	303.95a	30bc	14d	34ab
CCF1	360.68ab	176.00ab	313.79a	39ab	19cd	35ab
CCF2	355.77ab	170.36abc	329.44a	38ab	23abc	40a
CCF3	377.72a	156.29abc	347.52a	44a	20bcd	46a
CRF1	339.05b	186.86a	330.93a	38ab	27a	44a
CRF2	360.26ab	187.51a	324.46a	40ab	26a	44a
CRF3	374.10ab	188.73a	330.04a	43ab	27a	45a

3 结论

(1)普通肥分层处理相对于普通肥基肥混施加追肥、控释掺混肥分层处理相对于缓控释肥混施均不同程度提高了冬小麦产量。普通肥施肥深度5 cm 1层施肥、施肥深度5,10 cm 2层施肥小麦籽粒产量有显著增产效果。控释掺混肥5,10 cm 2层施肥处理、5,10,15 cm 3层施肥处理比控释肥混施增产,而2层施肥和3层施肥间差异不显著,控释掺混肥各分层施肥小麦生物产量差异不显著。

(2)在小麦整个生长期,普通肥氮素供应施肥层次以1层或2层为好,而控释肥的施肥层次以2层或3层为好;不同施肥层次在小麦主要生长期土壤有效磷、速效钾含量差异不显著。

(3)普通肥和缓控释掺混肥不同层次施肥处理比混施处理普遍提高小麦氮磷钾的吸收量。普通肥分层各处理氮素积累量均有增加,控释掺混肥2层施肥和3层施肥氮肥吸收量增加。不同处理小麦对磷、钾素吸收量没有显著差异。分层施肥处理不同程度提高了氮磷钾肥料的利用率,普通肥分层处理比对照氮肥利用率提高了44.4%,40.7%和62.9%,磷肥利用率分别提高了35.7%,64.3%和42.8%,钾肥利用率提高了16.7%,33.3%和53.3%,差异均达显著水平;而控释掺混肥各处理氮肥、钾肥利用率差异不显著,磷肥利用率则显著增加了35.0%,30.0%和35.0%。

(4)在农业生产中,建议普通肥以5,10 cm 2层进行施肥,控释掺混肥以5,10 cm 2层施肥或5,10,15 cm 3层进行施肥。

参考文献:

[1] 李志勇,王璞,魏亚萍,等.不同施肥条件下夏玉米的干物质积累、产量及氮肥利用效率[J].华北农学报,2003,18(4):91-94.

[2] 战秀梅,李亭亭,韩晓日,等.不同施肥方式对春玉米产量、效益及氮素吸收和利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(4):93-100.

[3] 巨晓棠,张福锁.关于氮肥利用率的思考[J].生态环境,

2003,12(2):192-197.

[4] 张晓雪,吴冬婷,龚振平,等.施肥深度对大豆氮磷钾吸收及产量的影响[J].核农学报,2012,26(2):364-368.

[5] 郭宁,李文斌,沈玉芳,等.施肥深度对半干旱区冬小麦生物学性状及产量的影响[J].麦类作物学报,2011,31(3):504-507.

[6] 郭建勋.化肥机械深施与传统施肥和人工施肥对比[J].农业工程,2013,3(1):26-27.

[7] 朱兆良.中国土壤氮素研究[J].土壤学报,2008,45(5):778-783.

[8] 段亮,常江,段增强.地表管理与施肥方式对太湖流域旱地磷素流失的影响[J].农业环境科学学报,2007,26(1):24-28.

[9] Zeng S C, Su Z Y, Chen B G, et al. Nitrogen and phosphorus runoff losses from orchard soils in South China as affected by fertilization depths and rates[J]. Pedosphere,2008,18(1):45-53.

[10] 石岩,位东斌,于振文,等.施肥深度对旱地小麦氮素利用及产量的影响[J].核农学报,2001,15(3):180-183.

[11] 张永清,李华,苗果园.施肥深度对春小麦根系分布及后期衰老的影响[J].土壤,2006,38(1):110-112.

[12] 王法政,董雅茹,杨克军.低湿耕地玉米分层配比施肥的研究[J].黑龙江八一农垦大学学报,1993,7(2):10-14.

[13] 吴景贵,任成礼,代静玉,等.玉米一次性分层施肥技术研究[J].土壤肥料,1995,1(1):29-32.

[14] 王振华,张喜英,陈素英,等.分层施肥及供水对冬小麦生理特性、根系分布和产量的影响[J].华北农学报,2008,23(6):180-184.

[15] 汪强,李双凌,韩燕来,等.缓/控释掺混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(1):47-50.

[16] 邹忠君.玉米一次性分层缓释施肥技术试验研究[J].农学报,2011,1(4):6-9.

[17] Guo L, Ning T, Nie L, et al. Interaction of deep placed controlled-release urea and water retention agent on nitrogen and water use and maize yield[J]. European Journal of Agronomy,2016,75:118-129.

[18] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.