控释肥料在玉米小麦作物上一次性施肥技术应用研究

杨焕焕　孙克刚　和爱玲　杜　君

（河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所 / 河南省农业生态与环境重点实验室）

摘要：本实验在驻马店地力为中低水平的砂姜黑土上玉米小麦田间试验，研究控释肥料在小麦玉米作物上一次性施肥技术。结果表明，与只施用磷钾肥相比，施用氮肥显著提高了小麦玉米产量，玉米增产幅度为 16.7%–39.4%，小麦增产幅度为 16.7%–52.3%；与农民习惯施肥相比，优化施肥处理和等氮量控释肥一次性施入在提高产量和氮肥利用率方面效果显著，玉米增产幅 11.7%–18.4%，氮肥利用率提高了 15.5–20.0 个百分点，小麦增产幅度为 11.2%–17.0%，氮肥利用率提高了个 15.5–17.4 百分点；与优化施肥处理相比，等氮量控释肥一次性施入在提高小麦玉米产量方面效果相当，却减少了施肥次数；与等氮量控释肥一次性施入处理相比，连续三年减量 20% 氮素处理存在减产风险，玉米减产幅度为 5.3%–8.7%，小麦减产幅度为 5.2%–8.7%；减氮 20% 时氮肥利用率存在下降情况可能与当年产量下降与肥料品种有关。

关键词：控释肥；一次性施入技术；玉米；小麦；产量；氮肥利用率[1]

黄淮海平原是中国重要的粮食生产基地，其中小麦和玉米种植占有重要的地位[1–3]，施用氮肥是提高作物产量的重要手段，但农民为了追求高产，大量施用不仅导致了氮肥利用率偏低，而且造成了环境污染[4–7]。以前农民施肥习惯只重视基肥，后来研究侧重于根据作物需肥规律施肥，也取得许多重要的研究成果[8–10]，虽然氮肥后移可以提高作物对肥料的利用，但同时也增加了施肥次数，增加了劳动强度。控释肥料具有养分释放与作物需求同步，挥发、淋溶、固定少、对环境污染少等优点，因此成为新型肥料的研究热点[11–13]，而当今社会发展的需要，城镇化发展，农村劳动力转移，种植业机械化程度的提高，都需要农作物栽培方式的简化配，因此控施肥料在小麦玉米作物上一次性施肥技术具有重要的意义，为此在河南省驻马店市砂姜黑土上开展小麦和玉米控释肥试验，主要验证通过控释肥料的一次性施用，解决小麦多次施肥带来的劳动强度问题。

1　材料与方法

1.1　试验地点描述和试验设计

玉米小麦试验均安排在驻马店地力为中低水平的砂姜黑土上，共设置中等肥力点（驻马店市西平县盆尧镇于营村）和低肥力点（驻马店农科院农场）两个试验点，中等肥力点小区面积为 5×6=30 平米，低肥力点小区面积为 6×8=48 平米。玉米试验：试验品种均为郑单 958，播种量为 5000 株 / 亩。小麦试验：播种量为 11 公斤 / 亩，2013–2014 年品种为新农 979。种植前采取耕作层土壤（0–20 厘米）进行基础土样分析，具体养分情况详见表 1。

表 1 供试土壤的理化性状

作物	地点	pH 值	有机质（克 / 千克）	碱解氮（毫克 / 千克）	速效磷（毫克 / 千克）	速效钾（毫克 / 千克）	有效硫（毫克 / 千克）
玉米	于营村	6.4	9.5	85.1	10.2	53.6	15.3
	农场	6.0	9.4	85.7	11.3	59.5	15.7
小麦	于营村	6.4	8.5	84.3	11.2	55.1	15.8
	农场	6.7	9.1	88.7	12.1	60.3	16.3

[1] 项目资助：农业部行业专项“主要粮食作物一次性施肥研究与示范”，编号 201303103；河南科技厅攻关项目《夏玉米简化高产施肥技术研究》，项目编号 :152102110142；河南省财政预算项目“氮肥增值提效及高效施用技术研究与应用”。

[2] 作者简介：杨焕焕，女，河南南阳人，硕士研究生，主要从事植物营养与施肥和精准农业养分管理与施肥方向的研究。

[3] 通讯作者简介：孙克刚，男，河南省政府特殊津贴专家，河南省优秀青年科技专家，硕士生导师，1965 年出生，河南固始人，研究员，硕士，主要从事植物营养与施肥和精准农业养分管理与施肥方向的研究。获国家及省部级成果 15 项，《控释肥料高效施用技术研究与应用》获 2012 河南省科技进步二等奖。

1.2 试验设计

在小麦玉米试验在中等肥力和低等肥力上均设置 7 个处理，试验处理详见表 2。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对玉米小麦产量的影响

2.1.1 不同施肥处理对玉米产量的影响

由表 3 可以知，与处理 PK 比较，不同施氮处理产量都有不同程度的提高，增产幅度为 17.8%–39.4%（低肥力点）和 16.7%–26.1%（中等肥力点），且与处理 PK 达到显著性差异，说明施用氮素可以提高玉米籽粒产量。低肥力点产量最高的为 100%CRFA 处理，达到 585.8 公斤 / 亩，其次为 OPT 处理达到 568.1 公斤 / 亩，中等肥力点产量最高的仍为 100%CRFA 处理达到 598.4 公斤 / 亩，其次为 OPT 处理达到 582.2 公斤 / 亩，且不管是低肥力点还是中等肥力点二者的产量与 FP 处理达到显著性差异，增产幅度为 11.7%–18.4%，说明控释肥 A 全部基施和优化施肥处理效果要在提高产量方面要优于农民习惯施肥；与 100%CRFA 处理相比，80%CRFA 处理减产了 6.7%（低肥力点）和 5.3%(中等肥力点)，80%CRFB 处理低肥力点减产了 7.6%（低肥力点）和 6.5%（中等肥力点），80%CRFC 处理减产了 8.7%（低肥力点）和 8.3%（中等肥力点），且达到显著性差异，说明减氮 20% 时，玉米产量显著下降，但减氮 20% 处理与 FP 处理相比，低肥力点显著性提高，中等肥力点除 80%CRFC 处理有所增加但未达到显著性差异外，80%CRFA 和 80%CRFB 处理均显著提高，说明与农民习惯施肥相比，虽然氮肥用量减少了 20%，但提高了玉米的产量，且产量提高了 8.1%–10.4%（低肥力点）和 5.2%–8.8%（中等肥力点）。

综上所述，与只施磷钾肥处理处理相比，增施氮素显著提高玉米籽粒的产量；控释氮肥 A 全部一次性基施处理与优化施肥基施追施配合在提高玉米产量产量方面效果相当，说明按最佳施氮量的控释肥一次性施入不仅提高了

表 2 试验设计

处理	处理内容
PK	只施磷钾肥：过磷酸钙 (12%)，氯化钾 (60%)
FP	农民习惯施肥：完全按调查的农民习惯用量配比和方式操作，尿素按 4:6 在苗期、拔节期两次施入，N 肥用量为 15 千克 / 亩。
OPT	优化施肥：根据当地测土配方及往年试验数据确定各养分投入量、基追比和施用方式，尿素按 4:6 在苗期、拔节期两次施入，N 肥用量为 12 千克 / 亩。
100%CRFA	与处理 OPT 等 N 量，N 来自控释肥 A(44%)，一次性底施；N 肥用量为 12 千克 / 亩。
80%CRFA	与处理 OPT 相比减少 20%N 用量，N 来自控释肥 B(44%)，磷钾相同，所有肥料一次底施，N 肥用量为 9.6 千克 / 亩。
80%CRFB	与处理 OPT 相比减少 20%N 用量，N 来自控释肥 B(44%)，磷钾相同，所有肥料一次底施，N 肥用量为 9.6 千克 / 亩。
80%CRFC	与处理 OPT 相比减少 20%N 用量，N 来自控释肥 C(44%)，磷钾相同，所有肥料一次底施，N 肥用量为 9.6 千克 / 亩。
注：以上所有处理 P，K 用量相同，均为 P_2O_5 6 千克 / 亩，K_2O 8 千克 / 亩，试验中磷肥用普钙 (12%)，钾肥用氯化钾 (60%)。	

表 3 不同施肥处理对玉米产量的影响

试验点	处理	亩穗数（个）	穗粒数（粒）	百粒重（克）	实际产量（公斤 / 亩）
低肥力点	PK	5000	396.6	25.5	420.1d
	FP	5000	449.6	26.1	495.0c
	OPT	5000	458.1	29.6	568.1ab
	100%CRFA	5000	468.6	30.1	585.8a
	80%CRFA	5000	450.9	28.8	546.6b
	80%CRFB	5000	444.4	28.8	541.6b
	80%CRFC	5000	438.2	29.0	535.0b
中等肥力点	PK	5000	409.1	26.4	446.8e
	FP	5000	449.4	27.5	521.3d
	OPT	5000	467.1	29.8	582.2ab
	100%CRFA	5000	471.6	29.9	598.4a
	80%CRFA	5000	452.6	29.7	567.0abc
	80%CRFB	5000	453.9	29.4	559.6bc
	80%CRFC	5000	455.3	28.7	548.6cd

表 4 不同施肥处理对小麦产量的影响

试验点	处理	亩穗数（万 / 亩）	穗粒数（粒）	千粒重（克）	实际产量（公斤 / 亩）
低肥力点	PK	37.8	29.2	40.6	345.0d
	FP	41.8	30.7	43.8	435.1c
	OPT	42.6	33.1	43.6	484.0a
	100%CRFA	43.2	33.3	43.8	489.1a
	80%CRFA	42.7	32.9	43.4	465.3b
	80%CRFB	42.5	32.7	43.3	457.8b
	80%CRFC	42.7	32.8	43.3	460.0b
中等肥力点	PK	37.6	29.4	40.8	363.7d
	FP	41.8	31.6	44.0	434.2c
	OPT	42.9	32.8	43.9	491.5ab
	100%CRFA	43.4	33.3	44.1	508.1a
	80%CRFA	42.8	33.1	43.5	480.3b
	80%CRFB	42.7	33.1	43.2	474.3b
	80%CRFC	43.0	32.9	43.6	472.1b

玉米籽粒产量还减少了施肥次数；减施 20% 氮素处理与控释氮肥 A 全部基施处理相比产量有所下降；但与农民习惯施肥处理相比，产量结果显著提高，说明减量 20% 氮素处理并不降低产量，反而有所提高。

2.1.2 不同施肥处理对小麦产量的影响

由表 4 可以知，与处理 PK 比较，不同施氮处理产量都有不同程度的提高，增产幅度为 26.1%–41.8%（低肥力点）和 19.4%–39.7%（中等肥力点），且与处理 PK 达到显著性差异，说明施用氮素可以提高小麦的产量。低肥力点产量最高的为 100%CRFA 处理，达到 489.1 公斤 / 亩，其次为 OPT 处理达到 484.0 公斤 / 亩，中等肥力点产量最高的仍为 100%CRFA 处理达到 508.1 公斤 / 亩，其次为 OPT 处理达到 491.5 公斤 / 亩，且不管是低肥力点还是中等肥力点二者的产量与 FP 处理达到显著性差异，增产幅度为 11.2%–17.0%，说明控释肥 A 全部基施和优化施肥处理效果要在提高产量方面要优于农民习惯施肥；与 100%CRFA 处理相比，80%CRFA 处理减产了 4.9%（低肥力点）和 5.5%（中等肥力点），80%CRFB 处理低肥力点减产了 6.4%（低肥力点）和 6.7%（中等肥力点），80%CRFC 处理减产了 6.0%（低肥力点）和 7.1%（中等肥力点），且达到显著性差异，说明减氮 20% 时，小麦产量显著下降，但减氮 20% 处理与 FP 处理相比未到达显著性差异，说明与农民习惯施肥相比，减氮 20% 并未降低小麦产量，且产量提高了 5.2%–6.9%（低肥力点）和 8.7%–10.6%（中等肥力点）。综上所述，与只施磷钾肥处理相比，增施氮素显著提高小麦的产量；控释氮肥 A 全部一次性基施处理与优化施肥基施追施配合在提高小麦产量方面效果相当，说明按最佳施氮量的控释肥一次性施入不仅提高了小麦产量还减少了施肥次数；减施 20% 氮素处理与控释氮肥 A 全部基施处理相比产量显著下降；但与农民习惯施肥处理相比，2013 年试验产量结果未达到显著性差异且有所提高，2014 年试验结果只有 80%CRFC 处理（低肥力点）和减 80%CRFB 处理（中等肥力点）显著下降，2015 试验结果减 20% 控释肥处理不论是低肥力点还是中等肥力点产量都显著下降，说明连续三年减量 20% 氮素处理存在减产风险。

2.2 不同施肥处理对小麦玉米氮肥利用率的影响

2.2.1 不同施肥处理对玉米氮肥利用率的影响

由表 5 可知，低肥力点各施氮处理氮肥利用率为 23.4%–48.0%，氮肥利用率最高的为 80%CRFA 处理为 48.0%，其次是 80%CRFB 处理为 45.2%，利用率最低的为 FP 处理为 19.5%；与 FP 处理相比，OPT 处理提高了 16.5 个百分点，100%CRFA 处理提高了 18.3 个百分点，80%CRFA 处理提高了 24.6 个百分点，80%CRFB 处理提高了 21.8 个百分点，80%CRFC 处理提高了 19.3 个百分点。中等肥力点各施氮处理氮肥利用率为 23.9%–48.5%，氮肥利用率最高的为 80%CRFA 处理为 48.5%，其次 80%CRFB 处理为 46.1%，最低为 FP 处理为 23.9%；与 FP 处理相比，OPT 处理提高了 15.5 个百分点，100%CRFA 处理提高了 20.0 个百分点，80%CRFA 处理

表 5 不同施肥处理对玉米氮素利用率的影响

处理	低肥力点			中等肥力点		
	籽粒含氮量（公斤/亩）	秸秆含氮量（公斤/亩）	氮肥利用率(%)	籽粒含氮量（公斤/亩）	秸秆含氮量（公斤/亩）	氮肥利用率(%)
PK	6.1	1.2	——	6.4	1.1	——
FP	8.1	2.7	23.4d	8.3	2.9	23.9e
OPT	9.3	2.7	39.9c	9.5	2.8	39.4d
100%CRFA	9.7	2.6	41.7c	10.0	2.9	43.9bc
80%CRFA	8.9	2.9	48.0a	9.3	3.0	48.5a
80%CRFB	8.9	2.7	45.2ab	9.0	3.0	46.1ab
80%CRFC	8.6	2.8	42.7bc	9.8	2.7	40.7cd

表 6 不同施肥处理对小麦氮素利用率的影响

处理	低肥力点			中等肥力点		
	籽粒含氮量（公斤/亩）	秸秆含氮量（公斤/亩）	氮肥利用率(%)	籽粒含氮量（公斤/亩）	秸秆含氮量（公斤/亩）	氮肥利用率(%)
PK	5.7	1.6	——	6.0	1.7	——
FP	8.0	2.8	23.7b	8.0	3.0	21.1b
OPT	9.0	3.1	39.4a	9.2	2.6	33.4a
100%CRFA	9.1	3.1	41.1a	9.5	2.6	36.8a
80%CRFA	8.4	2.9	42.3a	8.8	2.5	37.2a
80%CRFB	8.2	2.9	40.3a	8.6	2.6	35.4a
80%CRFC	8.2	2.9	40.3a	8.5	2.6	34.6a

提高了 24.6 个百分点，80%CRFB 处理提高了 22.3 个百分点，80%CRFC 处理提高了 16.8 个百分点。不论是低肥力点还是中等肥力点其它各施氮处理与农民习惯施肥相比均达到显著性差异，说明优化施肥和施用控释氮肥处理在提高氮肥当季利用率方面均优于农民习惯施肥；OPT 处理与 100%CRFA 处理相比，100%CRFA 处理比 OPT 处理提高了 1.8 个百分点（低肥力点）和 4.5 个百分点（中等肥力点），说明等氮量时，施用控释肥对氮肥的利用率效果较好；与 100%CRFA 处理相比，当氮肥用量减少 20% 时，80%CRFA 处理提高了 6.3 个百分点（低肥力点）和 4.6 个百分点（中等肥力点），80%CRFB 处理提高了提高了 3.5 个百分点（低肥力点）和 2.2 个百分点（中等肥力点），80%CRFC 处理低肥力点提高了 1.0 个百分点，中等肥力点降低了 3.2 个百分点。

综上所述，在提高氮肥当季利用率方面，各施氮处理效果均优于农民习惯施肥；优化施肥处理与 100%CRFA 处理相比，控释肥对氮肥的利用率效果较好且控释肥一次性施入减少了施肥次数，节省了劳动力；100%CRFA 处理相比，当氮肥减量 20% 时，三个减量处理氮肥利用率有所提高。

2.2.2 不同施肥处理对小麦氮肥利用率的影响

由表 6 可知，低肥力点各施氮处理氮肥利用率为 23.7%–42.3%，氮肥利用率最高的为 80%CRFA 处理为 42.3%，其次是 100%CRFA 处理为 41.1%，利用率最低的为 FP 处理为 23.7%；与 FP 处理相比，OPT 处理提高了 15.6 个百分点，100%CRFA 处理提高了 17.4 个百分点，80%CRFA 处理提高了 18.6 个百分点，80%CRFB 处理和 80%CRFC 处理提高了 16.6 个百分点。中等肥力点各施氮处理氮肥利用率为 21.1%–37.2%，氮肥利用率最高的为 80%CRFA 处理为 37.2%，其次是 100%CRFA 处理为 36.8%，最低为 FP 处理为 21.1%；与 FP 处理相比，OPT 处理提高了 12.3 个百分点，100%CRFA 处理提高了 15.7 个百分点，80%CRFA 处理提高了 16.0 个百分点，80%CRFB 处理提高了 14.3 个百分点，80%CRFC 处理提高了 13.5 个百分点。不论是低肥力点还是中等肥力点其它各施氮处理与农民习惯施肥相比均达到显著性差异，但其它各施氮处理之间差异不显著，说明优化施肥和施用控释氮肥处理在提高氮肥当季利用率方面均优于农民习惯施肥，当氮肥用量减少 20% 时对氮肥利用率并没有显著的影响。

综上所述，在提高氮肥当季利用率方面，各施氮处理效果均优于农民习惯施肥；优化施肥处理与100%CRFA处理相比，二者效果相当，但控释肥一次性施入减少了施肥次数，节省了劳动力；与100%CRFA处理相比，当氮肥减量20%时，2013年试验80%CRFA氮肥利用率有所增加，其他两个减量处理试验均有所降低，这可能与该处理当年产量下降及肥料品种有关。

3 结论

3.1 与只施磷钾肥处理相比，增施氮素显著提高小麦玉米的产量；控释氮肥A全部一次性基施处理与优化施肥基施追施配合在提高小麦玉米产量方面效果相当，说明按最佳施氮量的控释肥一次性施入不仅提高了小麦产量还减少了施肥次数，降低了劳动强度；减施20%氮素控释肥处理与控释氮肥A全部基施处理相比，小麦玉米产量均有不同程度的下降；减施20%氮素控释肥处理与农民习惯施肥处理相比，不论在小麦上还是在玉米上，产量并未下降。

3.2 在提高氮肥当季利用率方面，各施氮处理效果均优于农民习惯施肥；优化施肥处理与控释氮肥A全部一次性基施处理相比，二者效果相当，但控释肥一次性施入减少了施肥次数，节省了劳动力；减施20%氮素控释肥处理与控释氮肥A全部基施处理相比，小麦玉米试验上氮肥利用率都存在降低的情况，这可能与当年产量下降及肥料品种有关。

参考文献

[1] 殷培红，方修琦，马玉玲等．21世纪初我国粮食供需的新空间格局 [J]. 自然资源学报，2006, (04):625–631+678.

[2] 陈丽，郝晋珉，艾东等．黄淮海平原粮食均衡增产潜力及空间分异 [J]. 农业工程学报，2015, (02):288–297.

[3] 杨晓梅，李桂花，李贵春等．有机无机配施比例对华北褐土冬小麦产量与氮肥利用率的影响 [J]. 中国土壤与肥料，2014, (04):48–52.

[4] Wang G H, Zhang Q C, Huang C Y. SSNM–A new approach to increasing fertilizer N use efficiency and reducing N loss from rice fields [J]. J. Zhejiang Univ. (Agric. Life Sci.), 2003, 29 (1) :67–70.

[5] 郭胜利，党廷辉，郝明德．施肥对半干旱地区小麦产量、NO_3––N累积和水分平衡的影响 [J]. 中国农业科学，2005, (04):754–760.

[6] 杨小梅，刘树伟，秦艳梅，等．中国玉米化学氮肥利用率的时空变异特征 [J]. 中国生态农业学报，2013, (10):1184–1192.

[7] 王激清，刘社平，韩宝文．施氮量对冀西北春玉米氮肥利用率和土壤硝态氮时空分布的影响 [J]. 水土保持学报，2011, (02):138–143.

[8] 王宜伦，李潮海，谭金芳等．氮肥后移对超高产夏玉米产量及氮素吸收和利用的影响 [J]. 作物学报，2011, (02):339–347.

[9] 裴雪霞，王秀斌，何萍等．氮肥后移对土壤氮素供应和冬小麦氮素吸收利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报，2009, (01):9–15.

[10] 陈祥，同延安，亢欢虎等．氮肥后移对冬小麦产量、氮肥利用率及氮素吸收的影响 [J]. 植物营养与肥料学报，2008, (03):450–455.

[11] 赵斌，董树亭，张吉旺等．控释肥对夏玉米产量和氮素积累与分配的影响 [J]. 作物学报，2010, (10):1760–1768.

[12] 丁洪，王跃思，秦胜金等．控释肥对土壤氮素反硝化损失和N_2O排放的影响 [J]. 农业环境科学学报，2010, (05):1015–1019.

[13] 于淑芳，杨力，张民等．控释肥对小麦玉米生物学性状和土壤硝酸盐积累的影响 [J]. 农业环境科学学报，2010, (01):128–1.