

钙与赤霉素合剂(Ca+GA)处理种子的抗旱增产效果及原理

郭礼坤

(中国科学院水土保持研究所 陕西杨陵 712100)
水利部

摘 要 钙赤合剂(Ca+GA)拌种的盆栽春小麦比对照增产20%;在田间小区试验中春小麦增产19.9%~22.6%;在大田示范中一般增产8%~15%。Ca和GA混合处理使种子、幼苗的生物活性和抗性在一定程度上得到结合,起到两者在代谢和生长方面的互补和叠加效应,从而加强了对半干旱地区多变水分环境的适应,有利于旱地作物的成苗、生长以至产量形成。

关键词 钙与赤霉素合剂(钙赤合剂) 生理效应 种子处理 增产效果

Effect of Seed Treatment by Calcium-gibberellin Agent on Increasing Grain Yield Crop Drought Resistance and Its Mechanism

Guo Likun

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences
and Ministry of Water Resources Yangling Shaanxi 712100)

Abstract Pot experimental result shows that for the Ca+GA treatment grain yield of spring wheat was 20% higher than the control. Plot experimental result indicated that grain yield increased about 19.9%~22.6%. Demonstration result also shows that yield was generally increased by 8%~15%. The biological activity and hardiness of seeds and seedlings were improved combinable by the Ca+GA treatment. Both calcium and gibberellin acid play an important role on the effects of mutual compensation and superposition to seedling metabolism and growth. The treatment enhancing seedling adapted to moisture variable conditions in semiarid area. Therefore, the treatment is available for the crop seedling establishment, growth and formation of the grain yield.

Key words Ca+GA calcium-gibberellin agent physiological effect seeds treatment yielding effect

在半干旱地区,作物和牧草的播种成苗是农业生产中存在的一个重要问题。我国西北黄土

高原和华北平原,由于干旱频繁,几乎每年都给旱地播种保苗造成困难。为解决这一难题,在采用常规传统耕作栽培技术的同时,还必须寻求新的技术途径。应用化学药物(包括无机化合物、有机小分子、有机大分子、植物激素)于作物抗旱保苗增产不失为一条可行的思路。虽然激素、微量元素和其它化学药物对于种子萌发和幼苗生长影响的问题,已有大量报导,但针对干旱逆境的研究资料很少,这方面研究主要存在的问题是:基础性研究工作薄弱,实践中尚无大面积应用的成功实例,特别缺乏基础与应用紧密结合的系统研究工作。我们在开展本项研究之前,在作物干旱逆境成苗生理生态基础方面已经做了一定的工作。

1 钙赤合剂研究经过

于1982年开始,选用黄土高原地区广泛种植的春播作物糜子、谷子、玉米、高粱为材料,根据作者已有的工作基础和文献报导,采用14种化学药剂处理种子,以探讨在干旱条件下促进成苗的作用。14种化学药剂是:琥珀酸、赤霉素、抗坏血酸、激动素、抗坏血酸+水杨酸、双氧水、氯化钙、阿司匹林、硼酸、硫酸锰、硫酸镁、钼酸铵、硫酸锌、黄腐酸。经过多次室内模拟干旱试验,筛选出6种有效药剂及适宜浓度、适宜浸种时间。6种药剂及其浓度是:黄腐酸(0.05%)、赤霉素(20×10^{-6} ~ 50×10^{-6})、琥珀酸(0.03%)、硼酸(0.05%)、氯化钙(0.3%)、硫酸锌(0.1%)。适宜浸种时间为12h。总的看,这6种药剂虽对发芽率无显著作用,但多数不同程度地促进了幼芽生长。就不同作物看,对糜子作用较显著,谷子次之,玉米、高粱不够稳定(表1)。就不同药剂看,钙、赤霉素、硫酸锌及琥珀酸对糜子成苗有良好的作用(表2)。

表1 中等水分胁迫下($-7.3 \times 10^5 \text{Pa}$)

不同药剂处理4种作物种子对萌发及芽根生长的影响

药剂	谷子			糜子			玉米			高粱		
	发芽率 (%)	芽长 (cm)	根长 (cm)	发芽率 (%)	芽长 (cm)	根长 (cm)	发芽率 (%)	芽长 (cm)	根长 (cm)	发芽率 (%)	芽长 (cm)	根长 (cm)
黄腐酸 0.05%	82	3.92	1.70	94	2.06	1.36	20	2.55	3.95	65	0.87	0.82
与对照比%	94.25	109.80	101.80	97.91	114.44	112.40	36.36	100.00	72.61	118.18	82.08	60.74
赤霉素 50×10^{-6}	88	3.89	1.78	96	2.42	1.86	33	2.50	4.23	70	0.88	0.92
与对照比%	101.15	108.96	106.59	100.00	134.44	153.72	60.00	98.1	77.80	127.27	83.02	68.15
硫酸锌 0.1%	84	3.44	1.78	95	2.52	1.78	30	3.13	5.58	68	0.89	0.99
与对照比%	96.55	96.36	106.59	98.96	140.00	147.11	54.55	122.75	102.57	123.64	83.96	73.33
硼酸 0.05%	88	4.21	1.70	92	2.54	1.95	68	3.16	6.53	68	1.08	1.74
与对照比%	101.15	117.93	101.80	95.83	141.11	161.16	123.64	123.92	120.04	123.64	101.89	128.89
琥珀酸 0.03%	90	3.75	1.62	95	2.41	1.62	70	2.74	5.09	85	1.18	1.59
与对照比%	103.45	105.04	97.00	98.96	133.89	133.88	127.27	107.45	93.57	154.55	111.32	117.78
氯化钙 0.3%	94	3.65	1.66	94	2.33	1.62	65	3.27	6.06	54	0.95	1.52
与对照比%	108.05	102.24	99.40	97.91	129.44	133.88	118.18	128.24	111.40	98.18	89.02	112.59
对照清水处理	87	3.57	1.67	96	1.80	1.21	55	2.55	5.44	55	1.06	1.35
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

表2 不同药剂处理糜子幼芽生长情况

芽长分布	黄腐酸 0.05%	赤霉素 50×10^{-6}	硫酸锌 0.1%	硼酸 0.05%	琥珀酸 0.03%	氯化钙 0.3%	对 照 水处理
3cm 以下(%)	81.25	71.25	71.25	75.00	73.50	72.20	86.00
3cm 以上(%)	11.25	23.75	23.75	16.25	21.25	21.80	5.00
发芽率(%)	92.50	95.00	95.00	91.25	94.75	94.00	91.00

据此,以糜子及小麦为材料,选择了钙(Ca)与赤霉素(GA)并于1984年开始在室内进行了多次、多种方法钙和赤霉素浸种试验。

钙、赤霉素处理种子对成苗的作用:(1)模拟干旱试验。用0.3mol/L的甘露醇溶液作培养液,相当于 $-7.3 \times 10^5 \text{Pa}$,中度水分胁迫。经钙和赤霉素浸种的种子,在该培养液中播种。用培养皿培养发芽,测定发芽速度;用玻板直立发芽及铝盒加海绵发芽的方法测定芽、根生长速度及发芽速度。经3次重复试验,结果表明,经钙和赤霉素处理,发芽指数都有较显著的提高,发芽率提高不明显(见表3)。

关于芽、根生长,经5次重复试验,结果表明(萌发7d测定):芽的长度均超过对照,根的长度4次超过对照,一次与对照接近(表4)。

表3 Ca和GA处理糜子种子对萌发的影响

次数	发芽率(%)			$F_{0.01}=10.92$ $F_{0.05}=5.14$	发芽指数 G_i^*			$F_{0.01}=10.92$ $F_{0.05}=5.14$
	Ca	GA	CK		Ca	GA	CK	
第一次	94.0	96.0	90.7	$F=2.57$	50.0	49.4	40.0	$F=24.3^{**}$
第二次	88.7	96.0	85.3	$F=25.1^{**}$	35.8	40.4	29.4	$F=6.23^*$
第三次	91.5	88.5	88.5	$F<1$	51.6	40.3	39.5	$F=7.40^*$

* $G_i = \sum G_i/D_i$, G_i ——在时间 t 日的发芽数, D_i ——相应的发芽日数。

表4 Ca和GA处理糜子种子对芽、根生长的影响

次数	芽长(cm)			$F_{0.01}=6.93$ $F_{0.05}=3.88$	根长(cm)			$F_{0.01}=6.93$ $F_{0.05}=3.88$
	Ca	GA	CK		Ca	GA	CK	
第一次	2.73	3.13	2.44	$F=3.24$	2.24	2.43	1.76	$F=5.48^*$
与对照比%	111.9	128.3	100.0		127.3	138.1	100.0	
第二次	1.63	1.61	1.50	$F=12.1^{**}$	1.48	1.46	1.23	$F=23.1^{**}$
与对照比%	148.7	107.3	100.0		120.3	118.7	100.0	
第三次	2.40	2.47	2.02	$F=17.1^{**}$	2.87	2.82	2.00	$F=37.0^{**}$
与对照比%	118.8	122.3	100.0		143.5	141.0	100.0	
第四次	0.70	0.58	0.56	$F=3.27$	2.34	2.27	2.29	$F<1$
与对照比%	125.0	103.6	100.0		102.2	99.1	100.0	
第五次	2.33	2.42	1.80	$F=8.6^{**}$	1.26	1.86	1.22	$F=9.8^{**}$
与对照比%	129.4	134.4	100.0		132.8	152.5	100.0	

(2)盆栽控制灌水试验。经过处理的小麦种子,播种在土壤含水量6.8%的塑料盆内(每盆装干土3kg),播种后盆加盖,减少土面蒸发,每天开盖通风两次,出苗后,逐日统计苗数,共进行了4次重复试验(表3)。结果表明,其中3次经钙和赤霉素处理的出苗率和出苗速度效果都很明显,均达到了1%的显著水平。

表5 Ca和GA处理小麦种子对出苗的影响

次数	出苗率(%)			$F_{0.01}=6.93$ $F_{0.05}=3.88$	出苗指数 G_i			$F_{0.01}=6.93$ $F_{0.05}=3.88$
	Ca	GA	CK		Ca	GA	CK	
第一次	56.0	46.0	26.0	$F=11.8^{**}$	34.1	26.2	17.3	$F=18.4^{**}$
第二次	64.2	67.0	43.0	$F=22.6^{**}$	38.0	42.7	19.7	$F=48.8^{**}$
第三次	84.0	88.0	64.0	$F=7.5^{**}$	73.2	77.3	44.0	$F=18.4^{**}$
第四次	76.0	88.0	74.0	$F<1$	64.7	80.3	62.8	$F<1$

2 钙、赤霉素处理糜子种子对有关生理过程的影响

(1)对种子吸水的影响。钙和赤霉素处理对糜子种子吸水过程无明显影响。幼苗出土后,测定植株含水量也无明显差别。

(2)对幼苗耐旱力的影响。幼苗出土后长到 4 片叶时,停止浇水,从出现凋萎时开始计算,分别按 10d,15d,20d,25d 4 个时期复水,观察幼苗成活率(表 6)。经 25d 干旱后,钙和赤霉素处理的复水后仍能全部成活,对照则死苗 22.2%。由此表明:经钙、赤霉素处理后幼苗耐旱力有一定程度提高。测定幼苗持水能力,经钙、赤霉素处理和对照的相对值分别为 129,113,100。

(3)对呼吸速率和淀粉酶活力的影响。钙处理后 1~7d 之间呼吸速率有所下降,淀粉酶活力则明显升高。赤霉素处理则呼吸速度升高,而淀粉酶活力前期低于对照,10d 后超过对照(图 1)。

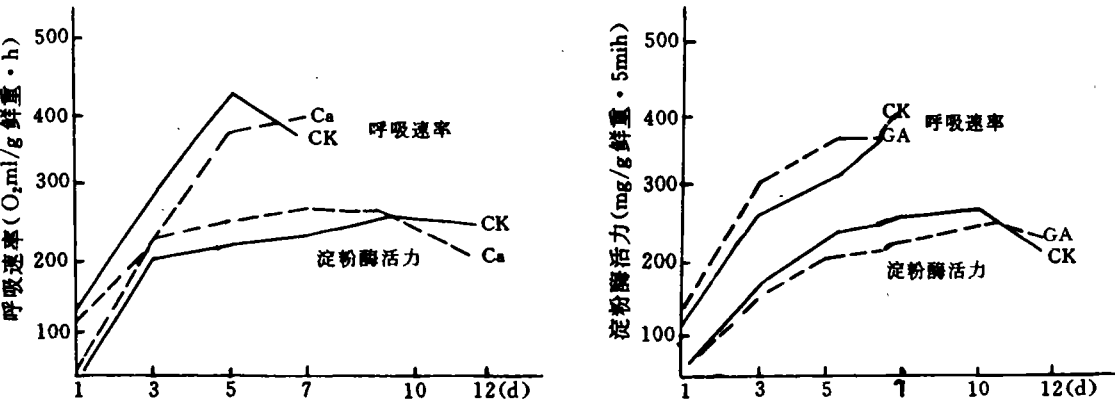


图 1 Ca、GA 处理糜子种子对呼吸速率、淀粉酶活力的影响

表 6 Ca 和 GA 处理对小麦幼苗耐旱力的影响

复水前土壤含水量(%)		4.3	3.0	2.3	2.0
受旱天数		10	15	20	25
成活率%	Ca	100.0	100.0	100.0	100.0
	GA	100.0	100.0	100.0	100.0
	CK	100.0	100.0	93.7	77.8

以上试验结果表明,在干旱条件下,钙和赤霉素确有促进糜子芽根生长,加快出苗速度和提高出苗率的作用,但其效应似乎受水分亏缺程度的严格限制。试验还表明,经钙处理后的种苗失水速度有所减慢,在严重干旱条件下,幼苗成活率增强。另外经钙处理后,观测到芽、根生长初期呼吸速率下降,淀粉酶活力增强。经赤霉素处理的芽、根生长阶段呼吸速度增高,ATP 含量增强较多,淀粉酶活力增强现象出现较迟。看来钙和赤霉素促进干旱逆境下成苗的作用机理似有不同,经钙处理后以增加种苗束缚状态水含量,减缓初期呼吸代谢强度来适应干旱。赤霉素处理则有促进种苗生长及初期能量代谢作用,并以此抵御干旱。据此看来,钙和赤霉素在促进干旱条件下作物成苗的作用上可能存在着互补效应,在此基础上我们开始进行钙和赤霉素混合处理种子使用技术、生理效应及增产效果的系统研究。

3 钙赤合剂处理种子的生理效应及增产效果

从 1987 年开始,以我国北方主要粮食作物小麦为材料,结合秋作物糜、谷,按一定浓度、一定比例、一定时间、一定操作程序,用钙与赤霉素混合,进行拌种和浸种研究,由实验室一盆栽一小区一大田(示范、推广),在其生理效应和增产效果方面取得了以下主要结果:

3.1 对小麦种子萌发和种苗耐旱力的作用

将种子置于 $-7.3 \times 10^5 \text{Pa}$ 甘露醇溶液中培养 7d,结果表明(表 7),经赤霉素处理的种子,能提高发芽率,促进胚芽生长,增加种苗鲜重,而 Ca+GA 混合处理种子效果更为明显。但经 Ca 处理的效果不明显。

表 7 药剂处理种子对萌发的影响

处理	发芽率 (%)	芽长 (cm)	根长 (cm)	鲜重 (g/50 苗)	干重 (g/50 苗)	种苗含 水量(%)	差异显著性 F _{0.01} =5.49
CK	84	2.75C	4.44C	3.770	1.408	62.65	芽长
CaCl ₂	80	2.72C	4.34C	3.533	1.319	62.67	F=36.39**
GA	89	3.88B	5.17B	4.258	1.482	65.19	根长
Ca+GA	91	4.36A	5.97A	4.456	1.486	67.06	F=15.08**

由胚芽脱水试验结果看出,在脱水过程中,GA 处理的失水最快,经 24h 自然干燥,失水量占总苗鲜重的 52.05%,对照和 Ca 处理的分别为 50.82% 和 50.57%,而经 Ca+GA 混合处理的失水率显著低于对照,为 45.50%,表明其耐干燥力明显增强。

对培养于 $-10 \times 10^5 \text{Pa}$ 渗透液中 24h 种苗根系活力测定结果(表 8)表明,Ca+GA 和 Ca 处理都有增大根系、活跃吸收面积、提高根系活力的作用,而经 GA 处理后则降低了这种作用。

表 8 药剂处理种子对于根系活力的影响

处理	总吸收面积 (m ²)	活跃吸收面积 (m ²)	根系活力 (%)
CK	0.3328	0.1045	30.5
Ca	0.3740	0.1320	35.3
GA	0.3190	0.0770	24.1
Ca+GA	0.3465	0.1045	38.1

用不同土壤含水量进行土培试验,播种时土壤含水量为 8.6% 的条件下,播种后 16d 调查,对照全部不出苗,而经 Ca 和 GA 处理的出苗率均为 8%,Ca+GA 混合处理的出苗率为 12%;土壤含水量为 10.5% 条件下,对照及 GA 处理的出苗率为 68%,Ca 和 Ca+GA 处理的则提高到 76%;而在土壤含水量为 12.2% 条件下,Ca+GA 和 GA 处理的出苗率则明显高于对照与 Ca 处理。播种后 5d 调查,对照出苗率为 58%,Ca 处理为 64%,GA 处理为 86%,Ca+GA 处理为 80%。出苗率表现出的上述差别,说明在不同土壤水分条件下 Ca 与 GA 的作用是相同的,结合对根系活力和失水率测定结果,可以认为,在一定水分胁迫条件下 Ca 处理种苗表现出较强的抗旱性,在较湿润环境中 GA 促进种苗生长作用明显,而 Ca 与 GA 混合处理则起到了两者的互补作用。

3.2 对种苗呼吸代谢的影响

种子经处理后,在模拟干旱条件下(0.3mol/L 甘露醇溶液培养)萌发,1~9d 期间测定呼

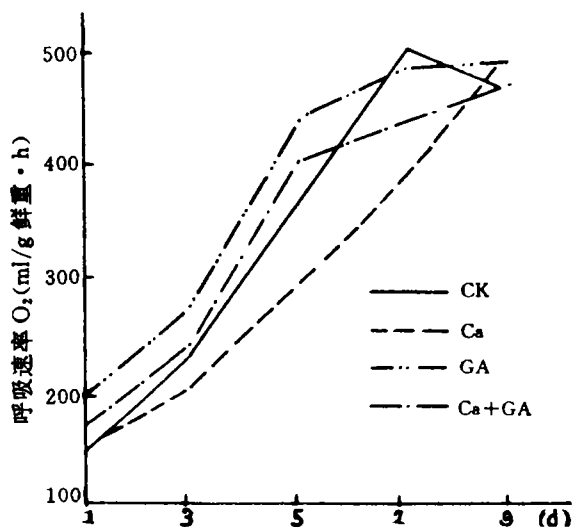


图2 不同处理呼吸速率变化
吸速率。经GA处理后增强了呼吸速率,Ca处理则降低了呼吸速率,在Ca+GA混合处理下呼吸速率居于二者之间(图2)。

淀粉酶活力测定结果表明(图3),GA处理一直高于对照,Ca处理前期低于对照,后期下降较慢,略高于对照,Ca+GA混合处理一直高于对照,而且高于GA处理,同样说明了Ca+GA起到了两者的互补效应。

将种苗置于 $-10 \times 10^5 \text{ Pa}$ 渗透液中培养,各时段含水量和脯氨酸含量测定结果(表9)表明,模拟干旱下,Ca+GA和Ca处理的种苗,多数情况下保持较高的含水量和较低的脯氨酸积累量,说明受到的水分胁迫较轻。

3.3 对生长和水分利用的影响

盆栽试验结果表明,中度干旱条件下,Ca与Ca+GA处理都比对照保持较高的生长速率,各叶片长度和株高虽较为接近,但都基本大于对照(图4)。

生物量测定结果与生长有一致的趋势,且多数情况下以Ca+GA处理为优。

室内研究结果:在 $-20 \times 10^5 \text{ Pa}$ (表10)严重水分胁迫条件下,Ca+GA以及Ca、GA单独处理的胚芽24h期间生长量显著大于对照。另外,分别在杨陵、固原两地进行了春小麦叶片净光合率的测定,在杨陵测定表明,Ca、Ca+GA处理叶片净光合率稍高于对照,并且具有较大的气孔阻力,这有利于植株保持水分(表11)。随后在固原的试验结果进一步证实:经Ca+GA处理后,在产量提高的同时,叶片净光合率和光合/蒸腾比率均有所提高(表12),特别是明显改善了光合速率和蒸腾速率日变化的进程(图5)。

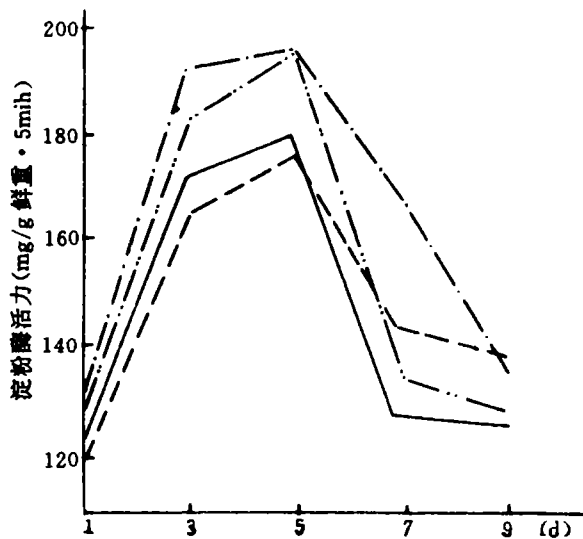


图3 不同处理淀粉酶活力变化

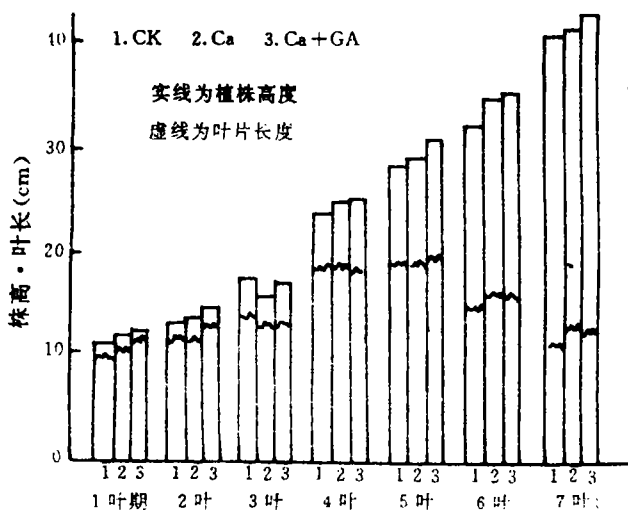


图4 不同处理对叶片生长和株高的影响

表 9 各处理胚芽含水量和脯氨酸测定结果

时段(h)	干重含水量(%)					脯氨酸(mg/g DW)				
	0	4	8	12	24	0	4	8	12	24
CK	988	948	874	774	696	4.932	5.966	8.857	10.518	24.657
Ca	959	944	892	826	795	4.698	4.661	5.778	11.844	20.319
GA	1021	994	915	808	764	4.393	6.857	8.251	12.170	21.967
Ca+GA	1022	973	876	844	820	4.875	4.762	5.860	8.809	19.885

表 10 春小麦不同生育阶段各处理的生物量

处理	三叶期		开花期		成熟期	
	地上部	地下部	地上部	地下部	地上部	地下部
CK	1.101	1.011	12.99	2.436	26.31	1.894
CaCl ₂	1.115	1.109	14.43	2.462	27.60	2.057
Ca+GA	1.283	1.186	15.53	2.602	29.13	2.109

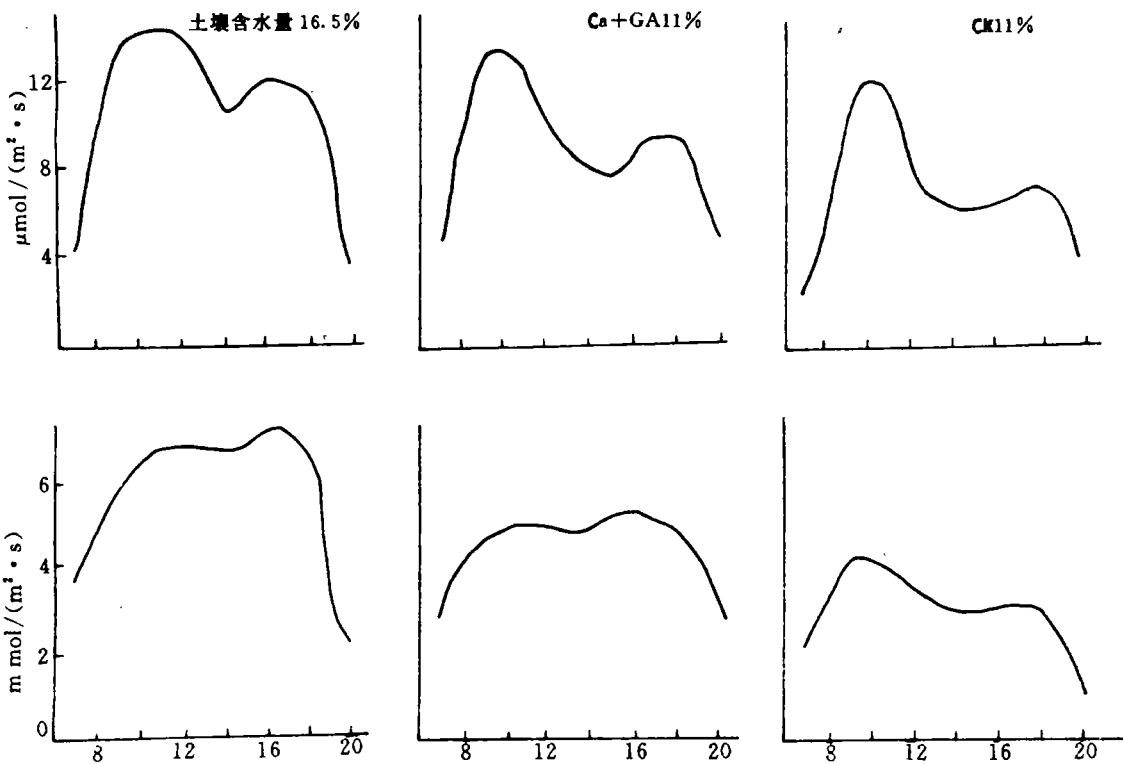


图 5 Ca+GA 处理春小麦种子对光合速率、蒸腾日变化的影响(固原)

表 11 春小麦开花期不同药剂处理叶面积、叶片净光合率、水势、气孔阻力(杨陵)

处理	叶面积 (cm ² /盆)	净光合率 (μmol/m·s)	水势(MPa)	气孔阻力 (s/cm)
CK	392	3.12	1.81	1.865
CaCl ₂	389	3.79	1.74	2.048
Ca+GA	454	3.69	1.79	2.240

注:差异显著性:小麦 F=10.89>F_{0.01}=5.29;糜子 F=9.16>F_{0.01}=4.43。

在中度干旱条件下,应用盆栽对春小麦和糜子的整个生育过程进行了水分利用的专门测

定。结果表明,经 Ca+GA 处理,在一定程度上提高了水分利用效率(表 13)。定西水土保持试验站 1990 年的试验取得了更为显著的效果,经 Ca+GA 处理后,产量平均提高 11.3%,水分利用效率达 $7.95\text{kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$,较对照提高了 30%。

表 12 Ca+GA 对春小麦产量、光合速率和水分利用的影响(固原)

土壤 水分	处理	籽粒产量 (g/盆)	净光合速率 [$\text{CO}_2\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	蒸腾速率 [$\text{H}_2\text{Ommol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	光合/蒸腾
11.0%	对照	7.41 ± 0.74	6.63 ± 0.11	3.40 ± 0.17	1.95 ± 0.04
	Ca+GA 拌种	8.44 ± 0.89	7.52 ± 0.10	3.47 ± 0.06	2.17 ± 0.05
16.5%	对照	15.9 ± 0.84	9.70 ± 0.13	4.87 ± 0.06	2.03 ± 0.04
	Ca+GA 喷施	18.9 ± 0.79	10.6 ± 0.19	5.11 ± 0.08	2.08 ± 0.06

表 13 Ca+GA 合剂拌种对水分利用及产量的影响

作物	处理	总耗水量 (kg/盆)	粒重 (g/盆)	生物量 (g/盆)	水分利用效率(g/kg)	
					粒重/耗水	生物量/耗水
小麦	CK	19.44	10.84 B	35.68	0.56	1.83
	Ca	17.92	10.39 B	35.48	0.58	1.98
	GA	20.87	12.70 A	39.54	0.61	1.89
	Ca+GA	21.48	13.01 A	40.56	0.61	1.89
糜子	CK	8.70	6.95 B	15.49	0.80	1.78
	Ca+GA	9.70	8.42 A	18.42	0.87	1.87

3.4 对产量的影响

(1)盆栽试验。试验在整个生育期保持 10%~20%土壤含水量(中度干旱)条件下进行。结果表明(表 13),经 Ca+GA 拌种的小麦和糜子分别比对照增产 20%和 21%,统计检验结果极显著。

(2)小区试验。分别在 3 个试验点进行,其中王洼点为田间对比试验,未设重复。曹洼点春小麦试验增产 19.9%,洞子硷点冬小麦试验增产 22.6%,均达极显著程度(表 14)。分析增产原因可以看出,经 Ca+GA 拌种提高出苗率 12%~14%,植株高度增加 4~8cm,小穗数增加 5%~8%,另外,1993 年在防雨棚控制水分条件下进行的试验结果表明,冬小麦经 Ca、GA 和 Ca+GA 处理后,产量分别为对照的 98.4%,129.4%和 142.3%,Ca+GA 处理增产效果十分显著,但 Ca 处理的没有增产,重复间差异较大,其原因有待进一步探讨。1994 年洞子硷村冬小麦越冬死苗严重,但 Ca+GA 拌种的死苗较轻,后又遭受严重干旱,3 个小区试验共 27 次重复的平均结果,经 Ca+GA 处理的产量为 $1495.5\text{kg}/\text{hm}^2$,较对照增产 18.8%。

表 14 Ca+GA 合剂拌种小区试验结果

地名	作物	处理	产量(kg/hm ²)	比例(%)	差异显著性
固原县曹洼村	春小麦	CK	964.5 B	100.0	$F=14 \geq F_{0.01}=6.06$
		Ca	1083.0 A	112.3	
		Ca+GA	1156.5 A	119.9	
彭阳县王洼	春小麦	CK	1666.5	100.0	$F=7 \geq F_{0.01}=5.99$
		Ca	2067.0	124.6	
		Ca+GA	2163.0	129.8	
彭阳县洞子硷	冬小麦	CK	1927.5 B	100.0	$F=7 \geq F_{0.01}=5.99$
		Ca	2250.0 AB	107.2	
		Ca+GA	2362.5 A	122.6	

上述试验结果表明,Ca 和 GA 皆有在一定水分条件下促进种子萌发幼芽生长,以及提高成苗的作用,但其作用机理有所不同。经 Ca 处理后,主要通过减缓呼吸代谢,增加持水能力,以增强膜的稳定性来适应干旱,Jones 等在评述 Ca 在植物体内的作用中应用了许多试验证据说明 Ca 对原生质膜的稳定作用。GA 主要通过诱导 α -淀粉酶的合成,增强萌发种子的呼吸作用,以使种苗保持较高的物质、能量代谢水平来抵御干旱。我们的试验结果还表明,在较充足供水条件下,Ca 对萌发和种苗生长产生一定抑制,而 GA 则明显起到促进作用;在水分严重亏缺时,Ca 增强了种苗的耐旱性,而 GA 则不利于耐旱。据近期报导(李广敏等,1993)随水分胁迫时间延长 GA 在玉米幼苗中的含量从 223 降至 132ng/(g·DW),用 Ca 浸种可促进 GA 下降,但却抑制 ABA 升高。Ca 浸种还可以抑制叶片质膜透性升高和相对含水量下降,说明 Ca、GA 与水分条件之间存在着某种相互关系。我们认为,Ca 和 GA 混合处理起到了两者在代谢和生长方面的互补和叠加效应。从对种子萌发、胚芽生长、抗脱水能力、淀粉酶活力、脯氨酸含量,以及根系活力等测定结果看,Ca+GA 处理均优于 Ca 或 GA 单独处理。据此推断,在水分条件较好时,Ca 对生长所起抑制作用可因 GA 的效应而消除,并且对于壮苗有利;在土壤干旱时,Ca 对原生质的保护作用则有利于 GA 充分发挥其促进生长的效能。有报导表明,Ca 具有增强 GA 促进 α -淀粉酶活力的功能。我们的试验结果也证明了这一点,表现为 Ca+GA 处理的淀粉酶活力显著高于 GA 处理,这无疑对于加速逆境下的萌发和成苗是很有意义的。由此看来,Ca 和 GA 混合处理使种子和种苗的生物活性和抗性在一定程度上得到结合,从而增强了对半干旱地区多变水环境的适应,有利于这一地区旱地作物的成苗、生长乃至产量形成。

4 钙赤合剂处理种子的推广应用

钙赤合剂处理种子抗旱节水技术,经过 6 年的实验室试验及盆栽、田间小区试验,取得了生理上增强抗旱性、促进成苗的效应及增产效应,试验结果稳定可靠,并于 1988 年开始用于大面积大田示范推广。这一技术处理方法简单,成本低,群众易接受,且增产效果稳定、显著,截止到 1993 年,累计示范推广面积 $7.47 \times 10^3 \text{hm}^2$,其中冬小麦 $3.47 \times 10^3 \text{hm}^2$,春小麦 $3.20 \times 10^3 \text{hm}^2$,谷子 800hm^2 。推广范围遍及彭阳、固原 14 个乡。我们曾在几个乡调查了 186 户农家,获得增产的 171 户,占调查户的 91.9%,平产 5 户,占 2.7%;减产 10 户,占 5.4%。实地采样测产 36.93hm^2 ,增产幅度为 7%~38%;多数集中在 15%左右;减产幅度 3.7%~8.5%;多数集中在 5%左右。

钙赤合剂处理种子示范推广几年来,经历了严重干旱的 1992 年,干旱和低温的 1993 年冬,及正常年的考验,不论是气候多变的不良环境,还是风调雨顺的丰收年,均取得了稳定的增产效果。另外,钙赤合剂处理种子不仅能在苗期发挥作用,促进抗旱成苗;生长后期仍能保持较好的抗旱性。如 1993 年冬小麦从播种到成熟整个生长期,早熟低温冻害及春夏连旱的不利气候条件下,经钙赤合剂处理种子的出苗率、越冬成活率及产量都明显高于对照。我们在彭阳县槐庄的调查结果经钙赤合剂处理的出苗率为 89.9%,对照为 88.5%;越冬死苗率,处理的为 57 万株/ hm^2 ,对照为 196.5 万株/ hm^2 ;成穗数,处理的为 291 万株/ hm^2 ,对照为 277.5 万株/ hm^2 ;最终产量,经处理的为 $1546.5 \text{kg}/\text{hm}^2$,对照为 $1150.5 \text{kg}/\text{hm}^2$ 。