

施钾量对寒地粳稻抗倒伏能力的影响

辛柳, 赵宏伟*, 雷万钧, 邹德堂, 刘化龙, 王敬国

(东北农业大学水稻研究所, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 以东农 425、东农 427 和松粳 6 号为试验材料, 研究不同施钾量对寒地粳稻抗倒伏能力的影响。结果表明, 在适当钾肥用量处理下, 水稻株高增加, 重心上移, 基部第 1、2 节间长缩短, 第 3 节间长伸长, 各节间粗度、充实度、茎壁厚、抗折力和弯曲力矩都增加, 倒伏指数减小, 抗倒伏能力增强, 茎鞘可溶性总糖含量增多, 产量增加。基部各节间抗折力与节间粗度、充实度、茎壁厚和茎鞘可溶性总糖含量呈极显著正相关, 与株高、重心高度和产量相关性不显著。第 1、2 节间抗折力与节间长呈极显著负相关, 第 3 节间抗折力与节间长相关性不显著。东农 425 和东农 427 在 K_2O 施用量为 75 kg/hm^2 抗倒伏性最好, 松粳 6 号在 K_2O 施用量为 100 kg/hm^2 抗倒伏性最好。

关键词: 寒地粳稻; 钾肥用量; 抗倒伏能力

中图分类号: S143.3; S511

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257(2015)04-0093-08

倒伏是水稻生产中普遍存在的问题, 发生倒伏后, 茎秆中输导组织受到损伤, 叶片不能有效地进行光合作用, 从而限制了产量的提高。如遇阴雨天气还可能引起霉变和穗发芽, 影响稻米品质^[1]。20 世纪 50 年代开始矮化基因在水稻育种上的应用, 在很大程度上避免了栽培高秆水稻品种可能带来的减产风险, 也在一定范围内提高了水稻产量, 但是近年来对粮食产量需求增多, 稻田化肥施用量不断增加, 加之种植方式和栽培措施不当以及不可预知的灾害性天气频繁发生, 倒伏已成为限制产量的主要问题之一。即使近年来育成的半矮秆耐肥抗倒高产品种, 也同样无法避免倒伏现象的发生^[2-4]。前人近来的研究发现, 钾是水稻不可缺少的重要营养元素之一, 它可以使水稻植株增重, 稻穗增长, 光合能力提高, 抗病能力增强, 从而促进水稻生长健壮, 提高产量^[5]。适当的施用钾肥能够促进水稻生长, 提高水稻的抗倒伏性, 进而提高产量^[6]。钾素可以减少氮肥过多引起的倒伏等负面影响^[7]而且有利于

促进水稻对氮肥和磷肥的吸收利用^[8]。因此, 深入研究钾肥对寒地粳稻抗倒伏能力的影响, 不仅可以丰富水稻施钾栽培措施的理论和技术, 而且对粳稻高产、稳产有着极为重要的现实意义。本试验以黑龙江省主栽粳稻品种东农 425、东农 427、松粳 6 号为试验材料, 研究不同施钾量对水稻节间配置、重心高度、茎秆特性、茎秆可溶性总糖含量、各节间抗折力、弯曲力矩和倒伏指数及产量的影响, 探讨施钾量对寒地粳稻抗倒伏能力的影响及其调控。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验选用寒地粳稻品种东农 425、东农 427 和松粳 6 号为材料。

1.2 试验设计

试验于 2013 年在东北农业大学试验实习基地进行。试验地土壤有机质含量 2.23%、全氮 0.124%、全磷 (P) 0.041%、缓效钾 (K) 706.5 mg/kg、碱解氮 129.8 mg/kg、有效磷 (P) 18.7 mg/kg、速效钾 (K) 99.1 mg/kg, 土壤 pH 值 6.8。试验采用随机区组设计, 3 次重复。设 7 个钾肥用量处理, 其 K_2O 施用量分别为: K_0 (0)、 K_1 (25 kg/hm^2)、 K_2 (50 kg/hm^2)、 K_3 (75 kg/hm^2)、 K_4 (100 kg/hm^2)、 K_5 (125 kg/hm^2)、 K_6 (150 kg/hm^2)。各处理氮磷用量相同, 其施肥量详见表 1。小区行长 20 m, 16

收稿日期: 2014-07-02; 最后修订日期: 2014-07-16

基金项目: 国家科技支撑项目 (2011BAD16B11); 黑龙江省“十二·五”科技攻关 (GA10B102-5); “十二·五”农村领域国家科技计划课题 (2013BAD20B04)。

作者简介: 辛柳 (1990-), 女, 辽宁省昌图县人, 在读硕士研究生, 研究方向为水稻栽培生理。E-mail: 605953802@qq.com。

通讯作者: 赵宏伟, E-mail: hongweizhao_cool@126.com。

行区, 小区面积 96 m²。小区间筑埂, 两边设保护行。4月20日播种, 5月26日插秧, 行距 30 cm, 穴距 13.3 cm, 每穴插 3 苗, 其它管理同生产田。

表 1 田间施肥量 (kg/hm²)

处 理	基肥			穗肥	
	尿素	磷酸二铵	硫酸钾	尿素	硫酸钾
K0	350	120	0	25	0
K1	350	120	35	25	15
K2	350	120	70	25	30
K3	350	120	105	25	45
K4	350	120	140	25	60
K5	350	120	175	25	75
K6	350	120	210	25	90

注: 从 K2 处理开始, 基肥和穗肥中 K₂O 含量比为 7:3。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 取样方法

分别在有效分蘖临界叶龄期、拔节期、孕穗期、抽穗期、齐穗期、乳熟期、蜡熟期、完熟期选取田间生长整齐一致的植株挂牌标记, 晴天 8:30~10:30 取样, 每处理选取 3 穴。将茎鞘置于恒温箱内 105℃ 杀青 30 min, 80℃ 烘干至恒重, 用于测定茎鞘可溶性总糖含量。

在抽穗期对各处理选择同日开花且生长状况基本一致的单茎 300 个挂牌, 齐穗 30 d 后, 每个小区取 5 穴, 每穴选取 2 个主茎, 每个小区共取 10 个单茎, 放在水桶里 (桶内放水, 保持植株不失水), 用于株高、重心高度、基部第 1、2、3 节间的节间长、节间中部的粗度和茎壁厚度, 以及测定基部的抗折力及节间基部到穗顶的长度和鲜重, 并烘干称重。

1.3.2 测定方法

1.3.2.1 茎秆性状及基部力学性状的测定 基部第 1、2、3 节间的弯曲力矩 (BM)、抗折力 (BR) 和倒伏指数 (LI) 的计算参照瀨古秀生等^[9]的方法, 并加以改进。

抗折力的测定方法: 用自行设计的简单仪器测定, 将待测定的节间茎秆 (不失水、保留叶鞘) 置于自制的简单支架上, 该节间中点与支架中点对应 (支点间距为 5cm), 在节间中点挂一适当的塑料容器, 逐渐加入砝码至茎秆快要折断

时, 再逐渐向盘中加入沙子直至茎秆折断, 此时砝码、沙子及塑料容器的重量之和即为该节间的抗折力 (g)。

弯曲力矩 (cm·g) = 节间基部至穗顶长度 (cm) × 该节间基部至穗顶鲜重 (g)

倒伏指数 (cm·g/g) = 弯曲力矩 (cm·g) / 抗折力 (g) × 100

用直尺测量株高与基部第 1、2、3 节间节间长; 用游标卡尺测量节间中部的粗度和茎壁厚度。

重心高度: 新鲜样本茎秆基部至该茎 (带穗、叶和鞘) 平衡支点的距离。

充实度 (g/cm) = 某节间干物质重 (g) / 节间长 (cm)

1.3.2.2 茎鞘可溶性总糖的测定 采用蒽酮法^[10]。

1.3.2.3 产量测定 在每小区收割 2 m² 水稻, 3 次重复, 单打单收, 测实际产量。

1.4 数据分析与处理

所得数据均采用 Excel 2003 和 SPSS 19.0 数据处理系统进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 钾肥用量对水稻节间配置、重心高度及产量的影响

表 2 分析了不同钾肥用量处理对 3 个参试水稻品种节间长、株高、重心高度及产量的影响。从基部节间长度来看, 在一定钾肥用量范围内, 3 个品种基部第 1、2 节间长度随着钾肥用量的增加而缩短, 达到一定程度后反而伸长, 基部第 3 节间长度则相反, 呈先伸长后缩短的趋势。东农 425 和东农 427 在 K3 处理时第 1、2 节间长度最短, 第 3 节间长最长; 松粳 6 号则是在 K4 处理时有相同的表现。东农 425 的 K3 处理第 1 节间长与 K2、K4 处理差异不显著, 但显著短于其他处理; 第 2 节间长显著短于其他各处理; 第 3 节间长除与 K4 处理差异不显著外, 显著长于其他各处理。东农 427 的 K3 处理第 1 节间长显著短于 K0、K1 处理, 与其他处理差异不显著; 第 2 节间长与 K4 处理差异不显著, 显著短于其他处理; 第 3 节间长与 K2、K4 处理差异不显著, 但显著长于其他处理。松粳 6 号的 K4 处理第 1 节间长度只与 K0、K1、K2 有显著差异, 第 2 节间长与 K5 处理差异不显著, 第 3 节间长显著长于其他各处理。

表 2 钾肥用量对寒地粳稻节间配置、重心高度及产量的影响

品种	处理	节间长 (cm)			株高 (cm)	重心高度 (cm)	产量 (kg/hm ²)
		第 1 节间	第 2 节间	第 3 节间			
东农 425	K0	12. 1a	20. 2a	30. 9d	80. 9b	35. 9c	4 431d
	K1	11. 8ab	19. 6abc	32. 2cd	83. 3ab	38. 3bc	5 318d
	K2	11. 2abc	19. 4abc	33. 9bc	85. 3a	40. 7abc	8 156bc
	K3	10. 2c	17. 8d	37. 1a	86. 3a	44. 7a	9 498a
	K4	10. 8bc	18. 8c	35. 3ab	85. 8a	42. 2ab	8 361ab
	K5	11. 4ab	19. 3bc	34. 3b	84. 1ab	39. 2bc	8 118bc
东农 427	K0	11. 7ab	19. 9ab	31. 4d	83. 1ab	37. 2bc	7 684c
	K1	10. 9a	17. 6a	27. 6c	76. 7b	31. 4b	6 113c
	K2	10. 6ab	17. 1ab	29. 7b	79. 2ab	34. 4ab	7 945b
	K3	9. 7abc	16. 3cd	30. 7ab	80. 6ab	36. 3ab	7 867b
	K4	8. 7c	15. 5e	32. 5a	82. 1a	39. 0a	9 044a
	K5	8. 8c	16. 0de	31. 3ab	80. 7ab	37. 8a	8 793a
松粳 6	K6	9. 5bc	16. 3cd	30. 2b	79. 7ab	35. 1ab	8 451a
	K0	9. 7abc	16. 8bc	29. 6b	77. 3ab	33. 9ab	7 502b
	K1	13. 7a	19. 9a	31. 5d	82. 2c	40. 9c	6 997d
	K2	13. 3ab	19. 6a	32. 3cd	84. 2bc	41. 7bc	10 787b
	K3	12. 8bc	18. 8b	33. 6b	85. 2ab	42. 7bc	10 934b
	K4	12. 5cd	18. 1c	34. 7b	86. 3ab	44. 5ab	11 002b
	K5	12. 0d	17. 7d	36. 9a	88. 1a	47. 3a	12 321a
	K6	12. 4cd	18. 0cd	35. 2b	87. 1ab	45. 5ab	10 735b
	K6	12. 6bcd	18. 7b	33. 9b	85. 9ab	43. 2bc	9 410c

注：不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)，表 3、4 同。

钾素水平越高，3 个品种的株高越高，重心上移，但是达到一定值时略有降低，这说明钾素有利于水稻生长，但是钾素过量会有一些抑制作用。东农 425 和东农 427 在 K3 处理时株高最高，且都仅与不施钾处理有显著差异，分别高于不施钾处理 6.67% 和 7.07%。松粳 6 号株高在 K4 处理时达到最大值，显著大于 K0、K1 处理，与不施钾处理相比，增长幅度为 7.18%。由此可知，适量施钾可优化寒地粳稻节间配置。东农 425 重心高度在 K3 处理下最高，与 K2、K4 差异不显著，但和其他处理差异显著。东农 427 的 K3 处理的重心高度只与不施钾处理差异显著。松粳 6 号重心高度在 K4 处理下最高，与 K3 和 K5 差异不显著，显著高于其他处理。

从产量上看，在一定范围内施钾促进水稻产量提高，但达到一定程度后有所降低。东农 425 和东

农 427 的实际产量在 K3 处理下达到最大值，松粳 6 号实际产量在 K4 处理下达最大值。东农 425 的 K3 和 K4 处理产量差异不显著，显著高于其他处理；东农 427 的 K3 处理下产量与 K4、K5 处理差异不显著，与其他处理差异显著；松粳 6 号 K4 处理产量显著高于其他各处理。

2.2 钾肥用量对水稻基部各节间抗折力、弯曲力矩、倒伏指数的影响

倒伏指数是体现水稻植株抗折力的比较综合全面的指标，与弯曲力矩成正比，与抗折力成反比，倒伏指数越小，茎秆抗倒伏能力越强。由表 3 可知，3 个水稻品种基部节间抗折力、弯曲力矩表现为第 1 节间 > 第 2 节间 > 第 3 节间，倒伏指数变化为第 1 节间 < 第 2 节间 < 第 3 节间，说明越是基部节间，抗倒伏能力就越强。

表3 钾肥用量对寒地粳稻基部各节间抗折力、弯曲力矩和倒伏指数的影响

品种	处理	抗折力 (g)			弯曲力矩 (cm·g)			倒伏指数 (cm·g/g)		
		第1节间	第2节间	第3节间	第1节间	第2节间	第3节间	第1节间	第2节间	第3节间
东农 425	K0	518.3f	218.1f	89.1e	591.0d	400.8d	215.0c	114.0a	183.8a	241.3a
	K1	601.6e	265.5e	107.4d	681.3c	473.1c	252.5b	113.3ab	178.2a	235.1ab
	K2	661.1d	358.4c	137.6c	739.9bc	520.1bc	301.2ab	111.9ab	145.1c	219.0cd
	K3	963.2a	500.3a	184.3a	844.1a	608.6a	342.7a	87.6d	121.6e	186.0f
	K4	817.1b	433.7b	159.6b	781.4ab	558.4ab	315.3a	95.6c	128.7de	197.6e
	K5	727.1c	392.4c	140.4c	768.4abc	545.7ab	297.5ab	105.7b	139.1cd	211.9d
	K6	627.4de	315.6d	118.2d	705.6bc	495.1bc	265.6b	112.5ab	156.9b	224.7bc
东农 427	K0	528.0g	225.2f	106.7f	511.2e	380.1d	217.3e	96.8a	168.7a	203.6a
	K1	628.2f	277.7e	129.5e	570.0d	407.8d	240.2de	90.7ab	146.9b	185.6b
	K2	766.1d	372.2cd	174.3c	638.5bc	465.7c	272.7bc	83.3bc	125.1c	156.5d
	K3	1139.2a	551.1a	226.0a	740.9a	538.1a	310.6a	65.0e	97.6d	137.4e
	K4	958.7b	482.0b	201.2b	689.7ab	509.7ab	291.9ab	71.9de	105.7d	145.1e
	K5	835.5c	404.7c	159.8cd	653.2bc	475.8bc	270.8bc	78.2cd	117.6c	169.4c
	K6	709.0e	333.5d	147.5de	626.9c	456.5c	258.5cd	88.4b	136.9b	175.2bc
松粳 6	K0	364.1f	169.4f	76.9e	509.6c	353.6c	196.9c	140.0a	208.7a	256.1a
	K1	436.0e	195.9ef	89.5de	553.1bc	385.6bc	222.0bc	126.9b	196.9ab	248.2ab
	K2	509.9d	227.6de	111.6c	597.6ab	416.8ab	247.7ab	117.2c	183.1bc	221.9c
	K3	658.8b	305.7b	134.6ab	641.7a	451.3a	272.2a	97.4ef	147.6de	202.3de
	K4	726.9a	345.8a	145.8a	663.4a	469.4a	288.6a	91.3f	135.7e	198.0e
	K5	612.0b	272.3c	122.2b	625.5ab	437.7ab	261.6ab	102.2de	160.8d	214.1cd
	K6	558.5c	239.0d	105.1cd	606.5ab	422.8ab	248.4ab	108.6d	176.9c	236.2b

不同钾肥用量下,东农425和东农427基部第1至第3节间抗折力和弯曲力矩大都表现为K3 > K4 > K5 > K2 > K6 > K1 > K0,东农425和东农427的K3处理基部各节间抗折力与其他各处理差异显著。东农425第1、2节间K3处理的弯曲力矩与K4、K5处理差异不显著,与其他处理差异显著,第3节间K3处理的弯曲力矩与K0、K1、K6差异显著,与其他处理差异不显著。东农427处理的第1至第3节间K3处理的弯曲力矩与K4处理差异不显著,与其他处理差异显著。东农425和东农427不同钾素处理下倒伏指数变化趋势也相同,大都表现为K3 < K4 < K5 < K2 < K6 < K1 < K0。东农425第1、3节间K3处理倒伏指数与其他各处理差异显著,第2节间K3处理倒伏指数与K4处理差异不显著,与其他处理差异显著。东农427基部第1至第3节间K3处理倒伏指数与K4处理差异不显著,与其他处理差异显著。松粳6号基部第1至第3节间抗折力和弯曲力矩则表现为K4 > K3 > K5 > K6 > K2 > K1 > K0,

其第1、2节间K4处理抗折力都显著高于其他各处理,第3节间K3处理与K4处理差异不显著。松粳6号第1至第3节间K4处理的弯曲力矩与K0、K1差异显著,与其他处理差异不显著。松粳6号倒伏指数第1、2节间表现为K4 < K3 < K5 < K6 < K2 < K1 < K0,第3节间表现为K4 < K3 < K5 < K2 < K6 < K1 < K0,而且第1至第3节间K4处理的倒伏指数与K3处理差异不显著,与其他处理差异显著。从品种间看,东农427的抗折力最大,倒伏指数最小,抗倒伏能力最强。

以上说明,适宜的施钾量可以提高基部各节间的抗折力和弯曲力矩,降低倒伏指数,增强稻株的抗倒伏性能。少施钾或者过多施钾,都会影响稻株的抗倒伏特性,但是从性状表现上看比不施钾处理强。

2.3 钾肥用量对水稻基部各节间粗度、充实度及茎壁厚的影响

由表4可知,随着钾素用量的增多,3个品种基部节间粗、充实度及茎壁厚也相应增大,达到最

大值后略有减小。其中东农 425 和东农 427 在 K3 处理下达到最大值, K3 处理下东农 425 的基部节间的粗度、充实度、茎壁厚分别比 K0 处理显著增加了 13.36% ~ 28.31%、13.23% ~ 86.67%、16.67% ~ 33.49%。K3 处理下东农 427 的基部节间的粗度、充实度、茎壁厚分别比 K0 处理显著增加了 8.18% ~ 27.21%、36.36% ~ 125.77%、15.35% ~

37.77%。松粳 6 号在 K4 处理下达到最大值, 基部节间的粗度、充实度、茎壁厚比 K0 处理分别增加了 20.18% ~ 25.22%、18.18% ~ 66.29%、23.46% ~ 48.95%。这说明施用钾肥有利于基部节间的增粗, 使水稻茎秆粗壮, 有利于抗倒伏。3 个品种基部节间的粗度、充实度及茎壁厚都表现为 K1 > K2 > K3, 且东农 427 表现最好。

表 4 钾肥用量对寒地粳稻基部各节间节间粗、充实度和茎壁厚的影响

品种	处理	第 1 节间			第 2 节间			第 3 节间		
		节间粗 (mm)	充实度 (g/cm)	茎壁厚 (mm)	节间粗 (mm)	充实度 (g/cm)	茎壁厚 (mm)	节间粗 (mm)	充实度 (g/cm)	茎壁厚 (mm)
东农 425	K0	4.62c	0.022 6d	0.552d	3.85d	0.015 0f	0.433d	2.47c	0.005 3b	0.302d
	K1	4.81bc	0.028 8c	0.574bcd	4.39bc	0.019 0e	0.461cd	2.68ab	0.005 6ab	0.337c
	K2	5.09ab	0.031 1c	0.591b	4.60bc	0.024 2c	0.499bc	2.75ab	0.005 8ab	0.368b
	K3	5.67a	0.040 7a	0.644a	4.94a	0.028 0a	0.578a	2.80a	0.006 0a	0.396a
	K4	5.24ab	0.036 7b	0.602b	4.70ab	0.025 5b	0.536ab	2.78a	0.059 0ab	0.373ab
	K5	5.01bc	0.033 1bc	0.584bcd	4.39bc	0.021 4d	0.479cd	2.70ab	0.005 7ab	0.344c
东农 427	K0	5.50b	0.019 4c	0.542d	4.08d	0.014 5e	0.456c	2.63e	0.005 5d	0.278d
	K1	5.81ab	0.023 0c	0.568cde	4.48c	0.016 5d	0.471bc	2.77cd	0.005 7d	0.289d
	K2	5.86ab	0.031 5b	0.593bc	4.81bc	0.020 2c	0.498abc	2.86abc	0.007 1ab	0.342bc
	K3	5.95a	0.043 8a	0.663a	5.19a	0.026 5a	0.526a	2.97a	0.007 5a	0.383a
	K4	5.91a	0.040 9a	0.601b	5.06ab	0.023 7b	0.506ab	2.89ab	0.007 2ab	0.362b
	K5	5.86ab	0.034 4b	0.577bcd	4.76bc	0.022 7b	0.487abc	2.79bcd	0.006 5bc	0.337c
松粳 6	K0	4.14c	0.017 8f	0.447d	3.37d	0.011 7f	0.341e	2.28c	0.004 4b	0.237e
	K1	4.42bc	0.024 2d	0.477c	3.53bcd	0.013 1e	0.362de	2.38c	0.004 7ab	0.261d
	K2	4.57ab	0.025 8cd	0.493c	3.78b	0.014 5cd	0.381bcd	2.58b	0.004 8ab	0.293c
	K3	4.72ab	0.028 5ab	0.540b	4.10a	0.015 8b	0.403abc	2.66ab	0.004 9ab	0.326b
	K4	5.01a	0.029 6a	0.609a	4.22a	0.017 1a	0.421a	2.74a	0.005 2a	0.353a
	K5	4.84ab	0.027 1bc	0.542b	3.73bc	0.015 4bc	0.413ab	2.69ab	0.005 1a	0.338ab
	K6	4.69ab	0.021 9e	0.492c	3.48cd	0.013 7de	0.371cde	2.61ab	0.004 8ab	0.281cd

2.4 钾肥用量对各时期水稻茎鞘可溶性总糖含量的影响

由图 1 可知, 随钾素施用量的增加, 3 个水稻品种各时期的茎鞘可溶性总糖含量均呈先增大后减小的单峰曲线变化趋势, 东农 425 和东农 427 在 K3 处理达到最大值, 松粳 6 号在 K4 处理达到最大值。东农 425 和东农 427 两个品种 K3 处理的转运率最大, 分别为 50.06% 和 48.79%, 松粳 6 号转运率在 K4 时最大, 为 55.21%, 且 3 个品种的茎鞘可溶性

糖转运率都在 K0 处理下最小, 分别为 43.28%、40.41%、45.60%。进一步分析, 松粳 6 号的转运率最大, 东农 427 最小。随着生育期的推进, 各钾素水平下的茎鞘可溶性总糖量也呈单峰变化, 在齐穗期达到最大值, 而后随着碳水化合物向穗部输送量增多, 茎鞘的可溶性总糖量急剧下降。适当的钾肥施用量可促进齐穗期至完熟期水稻茎鞘可溶性糖向穗部转移。3 个品种的茎鞘可溶性总糖含量表现为东农 425 > 东农 427 > 松粳 6。

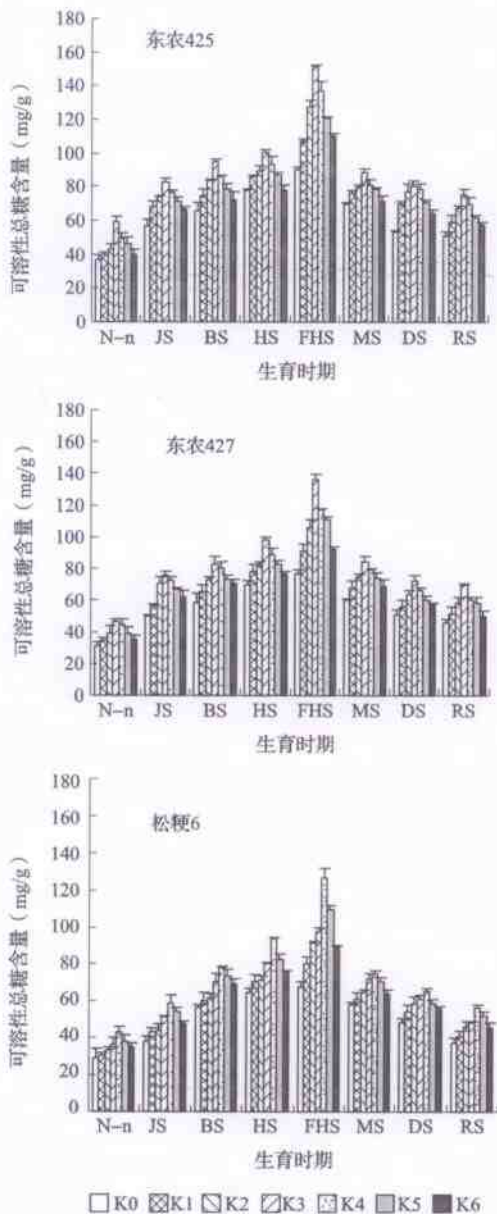


图1 不同钾素用量对水稻茎鞘可溶性总糖含量的影响
N-n: 有效分蘖期; JS: 拔节期; BS: 孕穗期; HS: 抽穗期;
FHS: 齐穗期; MS: 乳熟期; DS: 蜡熟期; RS: 完熟期

2.5 不同钾肥用量下水稻抗倒伏特性与茎秆主要生物特性及产量的相关分析

从表5中可以看出,本试验中水稻植株茎秆各节间抗折力和倒伏指数与茎秆主要生物特性及产量的关系密切,基部各节间抗折力与节间粗、充实度、茎壁厚、茎鞘可溶性总糖含量均表现为极显著正相关,第1、2节间的抗折力与节间长呈极显著负相关,第3节间抗折力与节间长相关性不显著。各节间抗折力与株高、重心高度及实际产量相关性不明显。

水稻茎秆各节间倒伏指数与节间粗、充实度、茎壁厚均表现为极显著负相关,第1、2节间倒伏指数与节间长呈极显著正相关,第3节间倒伏指数与节间长相关性不显著。各节间倒伏指数与株高、重心高度、产量相关性不显著,与第1、3节间茎鞘可溶性总糖含量相关性不明显。

除基部第3节间的节间粗与抗折力相关系数较大外,第1、2节间抗折力与节间长、充实度、茎壁厚、茎鞘可溶性总糖含量相关系数都比较大,且第1、2节间倒伏指数与节间长、节间粗、茎壁厚的相关性也较第3节间大,说明基部1、2节间的茎秆特性与稻株抗倒伏能力的相关性比第3节间更密切。

综上所述,适当增加节间粗、节间充实度、茎壁厚、茎鞘可溶性总糖含量、缩短水稻基部第1、2节间长,有利于增加水稻基部节间抗折力,减小倒伏指数,使水稻的抗倒伏性能增强。

3 讨论

3.1 施钾量对茎秆抗倒伏能力的影响

株高是水稻最重要的农艺性状之一,水稻的绿色革命就是以开展水稻矮化育种和推广矮秆高产品种所产生的成就为标志的^[11]。水稻矮秆品种的培育和应用,是水稻育种过程中的重大突破,增加了收获指数,大幅度提高了产量。

表5 水稻抗倒伏特性与茎秆主要生物特性及产量的相关分析

项目	抗折力			倒伏指数		
	第1节间	第2节间	第3节间	第1节间	第2节间	第3节间
株高	-0.004	0.056	-0.042	0.262	0.089	0.333
重心高度	0.007	0.045	-0.005	0.212	0.085	0.260
节间长	-0.824 **	-0.590 **	0.172	0.873 **	0.736 **	0.132
节间粗	0.787 **	0.899 **	0.902 **	-0.914 **	-0.911 **	-0.874 **
充实度	0.942 **	0.936 **	0.879 **	-0.724 **	-0.842 **	-0.880 **
茎壁厚	0.889 **	0.853 **	0.790 **	-0.782 **	-0.816 **	-0.575 **
茎鞘可溶性总含糖	0.674 **	0.765 **	0.622 **	-0.321	-0.581 **	-0.325
产量	0.164	0.165	0.229	-0.144	-0.187	-0.141

注:**表示1%水平显著相关。

一般认为,水稻植株的抗倒伏能力与株高有关,株高越高越容易倒伏,进而影响产量。本试验中,随着钾素用量的增加,株高增加、重心上移,K3、K4处理下的株高较其他处理显著增高,同时其茎秆性状表现良好,提高了稻株抗倒伏的性能。本研究发现,各节间抗折力、倒伏指数与株高、重心高度的相关性不显著,这说明株高不是影响倒伏的主要因素,同时由于试验选取的3个品种均为矮秆品种,其株高对抗倒伏能力的影响不是很大。因此推断,水稻株高在一定范围内时,倒伏指数与株高没有必然的关系。这与张忠旭等^[12]的研究一致,即矮秆不一定就抗倒伏,高秆不一定就不抗倒伏;王强盛^[13]的研究结果表明,适量施钾提高了水稻株高、重心高度,同时改善了茎秆的理化性能,增强抗倒伏能力。张明聪等^[14]的研究也表明,优化施肥和优化高产施肥使水稻的株高和重心高度增加,但是优化了节间配置,显著提高了水稻的倒伏能力。

倒伏是一个复杂、综合的现象,受到水稻品种本身特性、种植密度、肥水、光温、耕作制度和病虫害等因素的多重影响,其中水稻品种本身的茎秆特性关系重大。黄艳玲等^[15]研究表明,茎秆的抗折力与节间壁厚、节间粗和单位节间干重呈显著或极显著正相关,申广勒等^[16]的研究也表明,茎基粗与倒伏指数显著负相关,说明茎秆粗壮对提高水稻的抗倒能力有重要作用。而杨惠杰等^[17]研究的结果为节间长度与抗倒伏能力关系不大,且抗折力与节间粗度无明显相关,与倒伏指数甚至呈一定程度的正相关,但是与节间壁厚关系密切。这些分歧的原因是没有综合考虑基部节间的充实度,充实度是节间干重和节间长综合作用的结果,本试验中充实度与倒伏指数呈极显著负相关,郑志广等^[18]的研究也表明,单位节间长的干重大,使水稻植株生长稳健,不易发生倒伏。另外,试验还表明,节间长、节间粗和茎壁厚都与抗折力及倒伏指数关系密切,而且适量施钾优化了节间配置,增加了节间粗、茎壁厚和充实度,提高了水稻各节间抗折力,减少了倒伏指数,提高了水稻植株抗倒伏的性能。本试验中,东农427的平均株高最小,并且其节间长、节间粗度、充实度以及茎壁厚都最高,抗倒性较强,这表明在培育品种的过程中,选取矮秆的性状是很有必要的。

3.2 水稻茎鞘可溶性总糖含量对植株抗倒伏性的作用

可溶性糖是水稻茎鞘中贮藏的非结构性碳水化

合物,多糖的积累能促进木质素和纤维素等物质的形成,抑制果胶酸酶和纤维素酶等水解酶的合成,对维持茎秆强度有重要的作用。若碳水化合物合成不足,植株根系不能健康生长,引起根茎细胞组织衰老,降低抗病性和对抗自然灾害的能力^[19-20]。钾肥充足会使植物体内各个器官,尤其是茎秆和叶鞘的蔗糖、淀粉及纤维素等含量增加,机械组织增强,茎壁增厚,抗倒性增强^[21]。本研究发现,水稻茎鞘可溶性总糖含量及转运率均随着钾素施用量的增加呈先升高后降低的趋势,说明施钾过量会引起液泡中 K^+ 失衡,影响碳水化合物的代谢生成与分解^[22]。茎鞘可溶性总糖的转运过大对稻株抗倒伏能力有负面影响^[17],在本试验中,施钾量充足增加了可溶性糖向穗部的转运,进而促进了产量形成,但是茎秆抗折力没有因此减小,反而增加,说明适当的钾肥用量可促进茎鞘可溶性糖含量增加,茎秆充实度增强,进一步优化了茎秆的生物特性,增加了茎秆强度。在水稻生育后期,随茎鞘物质不断向穗部运输,干物质逐渐减少,茎秆的抗折力也随之逐渐降低,齐穗后21 d,茎鞘干物质的输出速率明显减缓,抗折力也渐趋稳定^[17]。抗倒伏的品种在茎秆内有较多的淀粉残留,即抗倒伏品种茎秆贮存物质转运率小于不抗倒品种。本试验中各品种的茎鞘可溶性总糖含量,东农425虽然比东农427大,但是东农427的转运率最小,这与其良好的茎秆特性有关,所以,东农427表现出较强的抗倒伏能力。

4 结论

本试验表明,在一定范围内增施钾肥可促进水稻的生长发育,如株高增加,同时可提高水稻抗倒伏性能,如第1、2节间长度缩短,各节间粗度、充实度、茎壁厚和茎鞘中可溶性总糖含量增加,最终提高产量。东农425和东农427在 K_2O 施用量为 75 kg/hm^2 时抗倒伏性最好,松粳6号在 K_2O 施用量为 100 kg/hm^2 时抗倒伏性最好。水稻的抗倒伏能力存在着品种间差异,东农427的茎秆性状和理化特性最好,即抗倒伏能力强于其他两个品种。

参考文献:

- [1] 张晶,石扬娟,任洁,等. 硅肥用量对水稻茎秆抗折力的影响研究[J]. 中国农学通报, 2014, (3): 49-55.
- [2] 夏永胜. 水稻抗倒伏性及评价概述[J]. 辽宁农业科学, 2012, (1): 63-64.

- [3] 杨波, 杨文钰. 水稻抗倒伏研究进展 [J]. 耕作与栽培, 2011, (2): 1-5, 9.
- [4] 胡继松, 彭伟正, 庞伯良, 等. 水稻抗倒伏性及评价指标体系研究进展 [J]. 湖南农业科学, 2011, (13): 41-44.
- [5] 陈杭芳, 何积秀. 钾肥对水稻生长的影响 [J]. 浙江化工, 2001, (3): 48.
- [6] 贺梅, 张文忠, 宋桂云, 等. 钾肥对高产水稻生长发育的影响 [J]. 辽宁农业科学, 2007, (1): 12-14.
- [7] 王建涛. 氮钾对寒地水稻抗倒伏性能的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.
- [8] 张国发. 施钾对寒地水稻养分吸收与分配的影响 [J]. 作物杂志, 2010, (4): 33-35.
- [9] 瀬古秀生, 佐本啓智, 鈴木嘉一郎. 水稻の倒伏に及ぼす二, 三栽培条件の影響 (II) [J]. 日本作物学会紀事, 1959, 27 (2): 173-176.
- [10] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006. 202-204.
- [11] 马良勇, 李西明, 朱旭东. 水稻株高性状的研究进展 [J]. 福建稻麦科技, 2001, (4): 20-23.
- [12] 张忠旭, 陈温福, 杨振玉, 等. 水稻抗倒伏能力与茎秆物理性状的关系及其对产量的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 1999, (2): 81-85.
- [13] 王强盛. 水稻钾素营养的积累特征及生理效应 [D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [14] 张明聪, 刘元英, 罗盛国, 等. 养分综合管理对寒地水稻抗倒伏性能的影响 [J]. 中国农业科学, 2010, (21): 4536-4542.
- [15] 黄艳玲, 石英尧, 申广勤, 等. 水稻茎秆性状与抗倒伏及产量因子的关系 [J]. 中国农学通报, 2008, (4): 203-206.
- [16] 申广勤, 石英尧, 黄艳玲, 等. 水稻抗倒伏特性及其与茎秆性状的相关性研究 [J]. 中国农学通报, 2007, (12): 58-62.
- [17] 杨惠杰, 杨仁崔, 李义珍, 等. 水稻茎秆性状与抗倒性的关系 [J]. 福建农业学报, 2000, (2): 1-7.
- [18] 郑志广, 尹德明, 李子芳, 等. 不同肥水条件对水稻生育状况及产量构成因素的影响 [J]. 天津农学院学报, 2003, (2): 9-13.
- [19] 周丽华. 杂交稻茎秆生理特性对其抗倒伏能力的影响 [J]. 河南农业科学, 2006, (10): 20-23.
- [20] 刘晓燕, 何萍, 金继运. 钾在植物抗病性中的作用及机理的研究进展 [J]. 植物营养与肥料学报, 2006, (3): 445-450.
- [21] 王爱英. 钾素对水稻生理功能的影响浅析 [J]. 山西化工, 2005, (1): 35-36, 39.
- [22] 王旭东, 于振文, 王东. 钾对小麦茎和叶鞘碳水化合物含量及子粒淀粉积累的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2003, (1): 57-62.

Effects of potassium application rate on stem lodging resistance of Japonica rice in cold region

XIN Liu, ZHAO Hong-wei*, LEI Wan-jun, ZOU De-tang, LIU Hua-long, WANG Jing-guo (Rice Research Institute of Northeast Agricultural University, Harbin Heilongjiang 150030)

Abstract: The effect of potassium application on stem lodging resistance of Japonica rice in cold region was investigated using Dongnong 425, Dongnong 427 and Songjing 6 as experimental materials. The results showed that under appropriate potassium application, plant height increased, center of gravity height moved up, the length of the first and second basal internode became short, the third basal internode length became long, stem coarseness and plumpness increased, stem wall became thick, flexural strength and bending moments increased, lodging index decreased, lodging resistance capacity strengthened, stem and sheath total soluble sugars content increased, rice actual yield improved. The flexural strength of each internode had a very significant positive correlation with stem coarseness, plumpness, stem wall thickness, total soluble sugar content of stem and sheath, whereas it had no significant correlation with plant height, center of gravity height and the yield. The flexural strength of the first and second internode showed a very significant negative correlation with the internode length, and the flexural strength of the third internode had no significant correlation with its length. The lodging resistance of Dongnong 425 and Dongnong 427 were best under the treatment of 75 kg/hm² K₂O rate, while the lodging resistance of Songjing 6 performed best under the treatment of 100 kg/hm² K₂O rate.

Key words: Japonica rice in cold region; potassium application rate; lodging resistance