



代丽婷,车京玉,范冬梅,等.氮肥用量对春小麦农艺性状和产量的影响及作用机理[J].黑龙江农业科学,2023(6):6-11,18.

氮肥用量对春小麦农艺性状和产量的影响及作用机理

代丽婷¹,车京玉¹,范冬梅²,刘宁涛¹,张起昌¹,田超¹,尹雪巍¹

(1. 黑龙江省农业科学院 克山分院,黑龙江 齐齐哈尔 161000; 2. 齐齐哈尔市龙沙区农业综合服务中心,黑龙江 齐齐哈尔 161005)

摘要:为促进小麦品种克春 130290 大面积增产并推广种植,提高肥料利用率,通过田间试验,测定了 7 个施肥水平下春小麦的农艺性状、产量及产量构成要素,并进行相关分析研究施氮量对春小麦农艺性状和产量的影响及其作用机理。结果表明,当纯氮施用量为 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时春小麦株高和茎数达到较大值,继续增加施氮量两者增加不大甚至反而降低;在施氮量 $0 \sim 90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 范围内穗长、不孕小穗数、小穗数和容重变化不显著。当纯氮施用量为 $67 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,产量最高,为 $5791.67 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,继续增施氮肥产量却降低,但降低幅度不显著;各处理穗粒数差异不显著,有效穗数和千粒重差异显著,当施氮量为 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时春小麦有效穗数最高,为 $714.67 \text{ 万穗} \cdot \text{hm}^{-2}$,当施氮量为 $67 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时千粒重最高,为 34.13 g 。不同施氮水平下春小麦株高与产量呈极显著正相关关系,有效穗数与产量呈显著正相关关系,相关系数分别为 0.82 和 0.54,两者对产量有促进作用,其他农艺性状及产量构成要素与产量相关性不显著。综上所述,本试验条件下,考虑到减小氮肥施用给环境带来的压力,春小麦品种克春 130290 在黑龙江省克山县适宜的施氮量为 $67 \sim 75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

关键词:春小麦;氮肥;农艺性状;产量

氮素是农作物生长不可缺少的重要元素,适量施用氮肥是促进小麦生长发育、提高产量和改善品质的重要措施^[1]。科学使用氮肥,不但能提高氮肥的利用率,促进作物健康生长,提高农作物产量,满足我国国民消费需求,还能减轻环境污染,有助于实现我国农业的可持续发展^[2-3]。不同施氮量会不同程度地影响小麦的农艺性状和产量。乔祥梅等^[4]研究指出云麦 53 在施氮量 $150 \sim 225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 条件下,有利于增加有效穗,提高穗粒数,从而获得较理想的籽粒产量。汤小庆等^[5]研究指出追氮量减少 10% 时,施氮模式 M5040 对穗数和千粒重没有显著影响,可实现与不减氮处理相同的产量水平,但追氮量减少 20% 以上时,施氮模式 M5030、M3230 和 M5000 的穗数和茎蘖成穗率减少,最终产量显著下降。戴相林等^[6]研究指出在土壤相对含水量 55%~60% 时,在春小麦拔节期或抽穗期追施氮肥,总施氮量不宜超过 $0.6 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ 。本研究以黑龙江省春小麦克春 130290 为试材进行施氮量试验,克春 130290

是 2020 年通过黑龙江省农作物品种审定委员会审定的中强筋高产型春小麦品种,平均产量 $5853.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,较对照龙麦 26 号增产 9.1%,较对照克旱 16 号增产 16.1%,该品种在黑龙江省有较大的推广种植面积。前期曾研究过施氮量为 $75 \sim 90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 范围内对该品种产量的影响^[7],但是更大施氮范围如何影响该品种农艺性状及产量尚未见研究报道。因此,2022 年在大田条件下研究施氮量对春小麦农艺性状及产量的影响,旨在为克春 130290 提供配套的高产氮肥施用方法,提高氮肥利用率,实现增产增收并大面积推广种植,为黑龙江省北部地区春小麦生产中氮素的合理应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2022 年在黑龙江省农业科学院克山分院克山县试验基地进行,试验地地势平坦,肥力均匀。土壤为淋溶黑钙土,土壤 pH6.2,有机质含量为 $35.54 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮含量为 $1.74 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全磷含量为 $0.16 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效氮含量为 $124.43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷含量为 $50.67 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾含量为 $239.57 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,前茬作物为马铃薯。

1.2 材料

供试春小麦品种为克春 130290,由黑龙江省农业科学院克山分院提供。

收稿日期:2023-03-01

基金项目:国家小麦产业技术体系克山综合试验站(CARS-03-54);黑龙江省现代农业产业技术小麦协同创新推广体系;齐齐哈尔市科技计划创新激励项目(CNYGG-2022023);黑龙江省农业科学院克山分院 2023 年度先导项目(XDY-BC2023-02)。

第一作者:代丽婷(1987—),女,硕士,助理研究员,从事春小麦遗传育种与栽培研究。E-mail:dailiting02101987@126.com。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验采用单因素随机区组设计,共7个处理(表1),每个处理3次重复,小区行长10 m,16行区,行距15 cm,小区面积24 m²。供试肥料为大颗粒尿素(含N 46%)、磷酸二铵(含P₂O₅ 46%、N 18%)、硫酸钾(含K₂O 50%)。7个处理的肥料分别混匀,均作种肥人工施于垄内。2022年4月10日播种,播种量为316.70 kg·hm⁻²,基本苗720万株·hm⁻²,3叶1心和4叶1心时各镇压一次,其他管理措施均同一般大田。8月2日收割小麦。

表1 施肥处理及具体用量

处理	施肥量/(kg·hm ⁻²)		
	纯N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1(CK)	0	0	0
2	0	75	45
3	60	75	45
4	67	75	45
5	75	75	45
6	82	75	45
7	90	75	45

1.3.2 测定项目及方法 生育期间调查记录出苗期、三叶期、分蘖期、拔节期、挑旗期、抽穗期、开花期、灌浆期、成熟期等主要生育时期。所有田间

调查及方法均按农作物品种(小麦)区域试验技术规程^[8]执行。用米尺测量苗期、拔节期、抽穗期、开花期、灌浆期和成熟期6个生育时期的株高,每个小区选取有代表性的3行作为样点,选取长势一致的10株,3次重复,取平均值。

在小麦三叶期、拔节期、开花期和成熟期分别测定小麦基本苗、小麦最高总茎数、开花期茎数、成熟期茎数。选取每小区内有代表性的3行作为样点,取其平均值折合为每平方公顷茎数。

小麦生育期间各处理选取有代表性的1 m双行2个定样点,成熟时调查平均穗数并换算成单位面积有效穗数。收获前每处理随机抽取15株,进行室内考种,测定穗长、小穗数、不孕小穗数、穗粒数、千粒重和容重。成熟后以小区为单位,单打单收,折算成公顷产量,3次重复,取均值计算最终产量^[7]。

1.3.3 数据分析 使用Excel 2003进行数据处理和作表,应用SPSS 27.0统计软件对数据进行方差分析和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 生育时期

该试验各处理间生育期差异不大,取统一生育日期(表2)。

表2 不同氮肥条件下春小麦克春130290生育时期

播种期	出苗期	三叶期	分蘖期	拔节期	挑旗期	抽穗期	开花期	灌浆期	成熟期
4月10日	5月4日	5月20日	5月28日	6月13日	6月18日	6月22日	6月26日	7月5日—7月20日	8月2日

2.2 氮肥用量对春小麦农艺性状的影响

2.2.1 株高 由表3可知,不同生育时期不同施氮水平对春小麦植株株高有影响。在苗期至拔节期,各处理株高增加最快,平均增长量为26.96 cm,其次为抽穗期至开花期,平均增长量为23.12 cm,在开花期至成熟期株高增长减缓,平均增长量为4.10 cm,说明开花期之后春小麦的生长从营养生长和生殖生长并进阶段进入生殖生长阶段,植株株高增加缓慢,主要进入籽粒积累干物质的阶段。

在苗期、拔节期和抽穗期,6个施肥处理较不施肥处理株高分别提高了15.04%~23.03%、5.27%~15.64%、8.44%~14.24%,施肥的6个处理之间株高差异不显著,说明春小麦生长前期,在磷钾肥用量一定的前提下,纯氮用量在0~90 kg·hm⁻²的范围内对株高的影响不大,但不施肥对株高有显著影响。

由方差分析可知,开花期和灌浆期株高整体上组间差异均达显著水平($P<0.05$),这两个时期

株高表现均为处理6>处理5>处理7>处理4>处理3>处理2>处理1,处理6株高最大且与处理5、处理7无显著差异,而与其他处理差异显著;株高最小的为不施肥处理,分别比处理6小15.14%和12.78%。说明在这两个时期,当磷钾肥施用量一定时,增施氮肥对株高影响比较大,当纯氮的施用量为75 kg·hm⁻²时株高即达到较大值,继续增施氮肥,株高不仅不增反而降低。

在成熟期各处理株高表现为处理6>处理5>处理7>处理4>处理3>处理2>处理1,处理6株高最大且与处理3、处理4、处理5、处理7无显著差异,而与处理2和处理1差异显著。处理5、处理6与处理2有显著差异,株高最高的处理6分别比处理1和处理2高12.85%和8.16%,说明该时期不施肥或不施氮肥对株高有显著影响,磷钾肥一定的前提下,纯氮用量在60~90 kg·hm⁻²的范围内对株高的影响不大。

在克春130290各生育时期,随着施氮量增加

各处理株高基本呈先增高再降低的趋势,处理 6 株高最高,显著高于不施肥的处理 1,说明施肥有利于春小麦株高的增高,但并不是随着施氮量的增加株高一直增高,当达到一定水平时反而降低。

表 3 不同施氮水平对克春 130290 株高的影响 单位:cm

处理	苗期	拔节期	抽穗期	开花期	灌浆期	成熟期
1(CK)	19.11 b	45.52 b	56.21 b	76.75 d	81.53 d	82.90 c
2	23.22 ab	48.05 ab	62.86 a	82.62 c	86.87 c	86.49 bc
3	22.50 ab	48.86 ab	62.46 ab	85.57 bc	89.70 b	90.11 ab
4	24.56 a	51.59 ab	65.10 a	85.98 bc	90.51 b	90.50 ab
5	24.17 a	50.98 ab	63.46 a	89.46 a	93.28 a	93.43 a
6	24.83 a	53.96 a	65.55 a	90.44 a	93.48 a	93.55 a
7	23.05 ab	51.22 ab	61.39 ab	88.08 ab	90.81 ab	90.64 ab

注:同一列中不同字母表示处理间在 P<0.05 水平显著。下同。

2.2.2 茎数 由表 4 可知,克春 130290 的茎数在苗期相差不大,各处理间差异不显著;苗期到拔节期各处理茎数急剧上升,拔节期茎数达到最大值,随着生育进程的延续,茎数逐渐减少,拔节期到开花期下降比较快,开花期后茎数趋于平稳,变化不大。

拔节期茎数随着施氮量的增加呈先增加后降低的趋势,处理 4 茎数最高,为 985.33 万个·hm⁻²,处理 1 最低,为 693.00 万个·hm⁻²,处理 4 与处理 1 茎数差异显著,在施氮量 0~90 kg·hm⁻² 范围内茎数变化不显著,说明不施肥对拔节期茎数有一定的影响,在磷钾肥用量一定的前提下,施氮量在 0~90 kg·hm⁻² 范围内对拔节期茎数有影响,但不显著。

开花期与成熟期随着施氮量的增加,小麦茎数呈先增加后降低的趋势,处理 5 茎数均达到最大,分别为 736.33 万和 720.33 万个·hm⁻²,处理 1 茎数均最小,分别为 610.00 万和 592.00 万个·hm⁻²,处理 1 和处理 2 茎数差异不显著,处理 5 与处理 1、处理 2 茎数差异显著。开花期比拔节期各处理茎数下降较多,处理 4 下降最为明显,拔节期到开花期下降了 263.33 万个·hm⁻²,开花期到成熟期下降了 53.00 万个·hm⁻²,由此可见,施氮量为 67 kg·hm⁻² 时对各时期茎数影响最大。开花期茎数表现为处理 5>处理 6>处理 4>处理 7>处理 3,且他们之间差异不显著;开花期到成熟期各处理茎数下降幅度大小顺序为处理 4>处理 6>处理 7>处理 2>处理 1>处理 5>处理 3,茎数下降幅度越大越不利于产量的积累;成熟期茎数表现为处理 5>处理 6>处理 4>处理 3,且他们之间差异不显著。综上说明开花期后各处理茎数变化基本一致,不施肥茎数显著降低,在磷钾肥用量一定的前提下,适当增加施氮量能显著提高茎数,在施

氮量为 75 kg·hm⁻² 时茎数最大,继续增加施氮量茎数却降低。

表 4 不同施氮水平对克春 130290 茎数的影响 单位:万个·hm⁻²

处理	苗期	拔节期	开花期	成熟期
1(CK)	550.67 a	693.00 b	610.00 c	592.00 b
2	577.33 a	763.00 ab	634.00 bc	614.67 b
3	633.33 a	797.33 ab	653.67 abc	644.67 ab
4	581.33 a	985.33 a	722.00 ab	669.00 ab
5	596.00 a	801.33 ab	736.33 a	720.33 a
6	582.33 a	825.33 ab	724.67 ab	681.33 ab
7	612.00 a	746.67 ab	654.00 abc	624.00 b

2.2.3 穗部性状及容重 由表 5 可知,处理 1 穗长最短,为 7.90 cm,处理 6 穗长最长,为 9.40 cm,与处理 5 差异不显著,二者显著高于处理 1。说明不施肥对穗长的影响比较大,而在磷钾肥用量一定的前提下,施氮量在 0~90 kg·hm⁻² 范围内穗长变化不显著。

处理 1 小穗数最少,为 11.95 个,处理 7 小穗数最多,为 13.40 个,7 个处理小穗数差异均不显著。说明不施肥对小穗数的影响不大,在磷钾肥用量一定的前提下增施氮肥,小穗数也无明显变化。

处理 1 不孕小穗数最多,为 0.67 个,处理 5 最少,为 0.20 个,显著低于处理 1,其余各施肥处理不孕小穗数差异不显著。说明施氮量为 75 kg·hm⁻² 时春小麦结实率最高,不施肥不利于春小麦结实,磷钾肥施用用量一定的前提下,施氮量 0~90 kg·hm⁻² 范围内不孕小穗数变化不大。

处理 1 容重最大,为 817.27 g·L⁻¹,与处理 2、处理 3、处理 7 之间差异不显著,处理 4 容重最小,为 808.27 g·L⁻¹,与处理 5、处理 6 之间差异不显著,但三者显著小于处理 1。说明磷钾肥施

用量一定的前提下,施氮量 0~90 kg·hm⁻² 范围内容重先减小再增大,但变化不明显,不施肥容重反而明显增大。

表 5 不同施氮水平对克春 130290 穗部性状的影响				
处理	穗长/cm	小穗数/个	不孕小穗数/个	容重/(g·L ⁻¹)
1(CK)	7.90 b	11.95 a	0.67 a	817.27 a
2	8.47 ab	12.53 a	0.47 ab	812.40 ab
3	8.47 ab	12.73 a	0.40 ab	812.33 ab
4	8.53 ab	12.80 a	0.33 ab	808.27 b
5	9.20 a	13.20 a	0.20 b	809.87 b
6	9.40 a	13.33 a	0.53 ab	808.67 b
7	8.73 ab	13.40 a	0.40 ab	811.60 ab

2.3 氮肥用量对春小麦产量及产量构成因素的影响

2.3.1 产量 由表 6 可知,本试验条件下,随施氮量的增加产量呈先升高后降低的趋势。处理 4 产量最高,达到 5 791.67 kg·hm⁻²,其次是处理 5,两者之间差异不显著,处理 1 产量最低,仅有 4 372.22 kg·hm⁻²。处理 4 较处理 1 和处理 2 分别增产 1 419.45 和 751.39 kg·hm⁻²。处理 1 产量显著低于其他处理,处理 3、处理 4、处理 5、处理 6、处理 7 之间产量无显著差异,处理 2 与处理 4、处理 5 之间产量差异显著。上述结果表明不施肥严重影响小麦产量,在磷钾肥用量一定的前提下,纯氮施用量在 0~67 kg·hm⁻² 范围内,小麦产量随施氮量的增加显著增加,纯氮施用量在 67~90 kg·hm⁻² 范围内,小麦产量随施氮量的增加而降低,但降低幅度不显著。说明本试验条件下,当纯氮施用量

达 67 kg·hm⁻² 时,产量已最高,继续增施氮肥会造成肥料的浪费,氮肥利用率也会降低。

2.3.2 有效穗数 小麦有效穗数随施氮量的增加呈先增加后降低的趋势,处理 5 有效穗数最大,达到 714.67 万穗·hm⁻²,处理 1 有效穗数最小,为 558.00 万穗·hm⁻²,处理 5 与处理 1、处理 2、处理 7 差异显著,与处理 3、处理 4、处理 6 差异不显著,处理 5 较处理 1 增加 156.67 万穗·hm⁻²,增幅达 28.08%。以上结果说明,不施肥或施氮肥过多过少都显著降低春小麦有效穗数,在磷钾肥一定量的条件下,纯氮施用量在 60~82 kg·hm⁻² 范围内对春小麦有效穗数影响不显著。

2.3.3 穗粒数 穗粒数随施氮量的增加呈先增加后降低的趋势,处理 5 穗粒数最高,达 40.00 粒,处理 1 最低,为 37.20 粒,各处理穗粒数差异不显著,说明本试验条件下不施肥虽然能够降低穗粒数,但降低不显著,在施氮量 0~90 kg·hm⁻² 范围内穗粒数变化不大。

2.3.4 千粒重 处理 4 千粒重最高,达 34.13 g,处理 2、处理 3、处理 4、处理 5 之间差异不显著。处理 6 最低,为 32.27 g,处理 1、处理 2、处理 5、处理 6、处理 7 之间差异不显著。处理 4 与处理 1、处理 6、处理 7 之间差异显著,处理 3 与处理 6、处理 7 之间差异显著。由此说明不施肥会降低春小麦千粒重,在磷钾肥施用量一定的情况下,随着施氮量的增加千粒重呈先增加后降低的趋势,当施氮量为 67 kg·hm⁻² (处理 4) 时千粒重最高,比不施肥的处理 1 高 1.36 g,比施氮量为 82 kg·hm⁻² (处理 6) 时千粒重高 1.86 g。

表 6 不同施氮水平对克春 130290 产量及其构成因素的影响				
处理	有效穗数/(万穗·hm ⁻²)	穗粒数/粒	千粒重/g	产量/(kg·hm ⁻²)
1(CK)	558.00 b	37.20 a	32.77 bc	4372.22 c
2	570.67 b	37.60 a	33.33 abc	5040.28 b
3	641.33 ab	38.40 a	33.60 ab	5209.72 ab
4	664.00 ab	38.67 a	34.13 a	5791.67 a
5	714.67 a	40.00 a	33.30 abc	5750.00 a
6	656.00 ab	39.60 a	32.27 c	5687.50 ab
7	568.00 b	39.67 a	32.43 c	5380.56 ab

2.4 不同施氮量下春小麦产量因素及农艺性状间的相关性

由表 7 可知,对 7 个处理下春小麦农艺性状与产量进行相关分析,结果表明,春小麦产量与株高呈极显著正相关性,与有效穗数呈显著正相关性,相关系数分别为 0.82 和 0.54;春小麦产量与不孕小穗数呈不显著负相关性,相关系数为-0.16;

春小麦产量与其他农艺性状及产量构成要素呈不显著正相关。通过上述分析可知,株高和有效穗数这两个因素对该试验条件下春小麦产量有促进作用,株高对产量的贡献要大于有效穗数对产量的贡献。不孕小穗数对春小麦产量起不显著负作用。因此可以在防止倒伏的情况下适当提高株高来增加产量,并着重研究有效穗数对产量的贡献。

表 7 不同施氮量下克春 130290 产量构成要素的相关性分析

相关系数	株高	穗长	小穗数	不孕小穗数	有效穗数	穗粒数	千粒重	产量
株高	1							
穗长	0.66**	1						
小穗数	0.65**	0.75**	1					
不孕小穗数	-0.12	-0.21	-0.34	1				
有效穗数	0.35	0.04	0.05	-0.01	1			
穗粒数	0.50*	0.72**	0.95**	-0.33	0.02	1		
千粒重	0.14	-0.09	-0.03	-0.04	0.10	-0.09	1	
产量	0.82**	0.34	0.41	-0.16	0.54*	0.23	0.13	1

注：* 表示在 $P<0.05$ 水平相关性显著；** 表示在 $P<0.01$ 水平相关性极显著。

3 讨论

氮素是合成小麦籽粒中氨基酸和蛋白质的主要成分,是核酸、叶绿素及多种酶、维生素、植物激素的组成成分。适量的氮素能促进小麦根、蘖、茎、叶等营养器官的生长发育,可促进分蘖和幼穗分化发育,增加小花原基分化数和可孕花数,有利于花、籽粒等生殖器官的发育和生长,对提高分蘖成穗率和促进穗多、穗大、增加粒重具有重要的作用^[9]。有研究指出增加氮肥施用量,小麦植株的株高显著增加^[10-11];本研究随着施氮量增加株高基本呈先增大再减小的趋势,成熟期株高与产量呈极显著正相关关系,这与孙军伟等^[12]研究结果一致;贾永红^[13]指出高水、高肥最终使植株生长过高而大面积倒伏,从而对产量和品质都造成一定的影响,因此株高越高产量越高并不适合所有种植条件。氮肥施用量可以影响小麦茎数,适宜用量下可以优化群体结构。有研究指出小麦茎数随着施氮量的不断增加呈先增加后减少的趋势^[14-15],本研究小麦开花期后茎数动态与前人研究结果基本一致,表明适当减氮能够有效增加茎数,能维持较高的茎蘖成穗率。施氮量可以影响小麦穗长进而影响产量,乔祥梅等^[4]研究表明小麦穗长随着施氮量的增加而增加,N300 处理穗长最长,且 N300 与 N225 处理之间差异不显著;本研究在纯氮施用量 0~90 kg·hm⁻² 范围内穗长变化不显著,出现这种结果可能是由于小麦品种、施氮水平和研究环境不同导致研究结果出现差异。

有效穗数、穗粒数和千粒重是产量构成三要素,三者相互作用影响产量,施氮对三者的影响前人有不同的研究结果。李双双等^[16]研究表明,适量增施氮肥可有效增加春小麦有效穗数、穗粒数和千粒重,提高产量;李国强等^[17]研究表明适量施氮显著提高了小麦品种穗数、穗粒数及收获指

数,但对千粒重的影响不显著,穗数和穗粒数是造成籽粒产量差异的主要原因。郝代成等^[18]研究表明,氮肥的施用对小麦穗粒数和千粒重有显著影响,穗数在处理间差异较小;本研究表明各处理穗粒数差异不显著,而有效穗数和千粒重差异显著。相关性分析结果表明有效穗数与产量呈显著正相关关系,对产量有促进作用,而穗粒数和千粒重与产量相关性不显著,这与刘若楠等^[19]研究结果不一致。说明品种、生态条件、土壤条件以及气候条件等因素的不同会得到不同的试验结果。

小麦产量的高低主要受小麦品种特性、栽培措施及环境三方面的影响,施用氮肥是栽培措施中可以人为控制的因素。氮肥施用量对小麦的氮代谢活性造成影响,引起各种生理生化过程的改变,最终影响产量。前人关于施氮影响小麦产量的研究有很多,且基本上都得到了较为一致的结论,籽粒产量与施氮量呈二次曲线关系,即随着施氮量的增加,小麦产量表现为先增加后减弱的趋势,这个过程中就会出现一个最适宜的施氮量^[20-24],这是因为适量施氮能促进小麦分蘖并加快穗的发育进程,能增加叶面积和提高叶片叶绿素含量,进而提高光合能力,促使大量光合产物-碳水化合物输入生殖器官,最终增加籽粒产量^[25];但氮肥过多导致短期内群体密度迅速增加,叶片遮光面积过大,抑制了小麦中下层叶片光合作用和光合产物向籽粒的运输,从而降低了光合同化物的积累,最终导致籽粒产量和千粒重的下降^[26]。本研究结果与前人研究结果基本一致,表明施氮量对克春 130290 产量影响达到显著水平,施氮量在 0~67 kg·hm⁻² 范围内,产量随施氮量的增加显著增加,最高产量为 5 791.67 kg·hm⁻²,施氮量超过 67 kg·hm⁻² 时,产量反而降低,但降低的不显著;本课题组于 2021 年对该品种进行的氮肥试验产量也是随施氮量的增加呈先增加后降低的趋势,施氮量为 82 kg·hm⁻² 时产量

最高,为 $4\,129.95\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ [7]。从两年结果看出 2021 年获得高产的施氮水平高于 2022 年,这可能与两年试验地土壤肥力不同有关。2022 年最高产量高于 2021 年,可能与当年的气温、降水时期、降水量及土壤肥力有关。结合两年试验结果可以看出在年份和地块不同的条件下,可以通过调节施氮量获得高产,但各自的高产水平和对应的施氮量是不同的。综上可以得出在黑龙江省克山地区克春 130290 在施氮量 $67\sim 82\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 范围内都可以获得较高的产量。

4 结论

在纯氮施用量为 $75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,克春 130290 株高和茎数达到较大值,继续增加施氮量两者增加不大甚至反而降低;在施氮量 $0\sim 90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 范围内穗长、不孕小穗数、小穗数和容重变化不显著。不施肥显著降低小麦产量,在磷钾肥用量一定的前提下,纯氮施用量在 $0\sim 67\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 范围内,产量随施氮量的增加显著增加,当纯氮施用量为 $67\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,产量最高,为 $5\,791.67\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,纯氮施用量在 $67\sim 90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 范围内,产量随施氮量的增加而降低,但降低幅度不显著;各处理穗粒数差异不显著,有效穗数和千粒重差异显著,当施氮量为 $75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时有效穗数最高,为 $714.67\text{ 万穗}\cdot\text{hm}^{-2}$,当施氮量为 $67\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时千粒重最高,为 34.13 g 。成熟期株高与产量呈极显著正相关关系,有效穗数与产量呈显著正相关关系,相关系数分别为 0.82 和 0.54,两者对产量有促进作用,其他农艺性状及产量构成要素与产量相关性不显著。综上所述,在保证春小麦克春 130290 产量的前提下,考虑到通过减小氮肥施用量来减轻环境压力,黑龙江省克山地区在磷钾肥用量一定的前提下,推荐施用纯氮范围为 $67\sim 75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

参考文献:

- [1] 徐凤娇,赵广才,田奇卓,等.施氮量对不同品质类型小麦产量和加工品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(2):300-306.
- [2] 马登科,殷俐娜,刘溢健,等.施氮量对黄土高原旱地冬小麦产量和水分利用效率影响的整合分析[J].中国农业科学,2020,53(3):486-499.
- [3] ZHAO B Q, LI X Y, LI H, et al. Results from long-term fertilizer experiments in China: the risk of groundwater pollution by nitrate[J]. NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences, 2011, 58: 177-183.
- [4] 乔祥梅,程加省,王志伟,等.氮肥施用量对高产型小麦品种“云麦 53”产量及农艺性状的影响[J].云南农业大学学报(自然科学版),2015,30(1):96-100.
- [5] 汤小庆,丁永刚,梁鹏,等.减少追氮量对弱筋小麦品种农艺性

- 状和生理特性的影响[J].麦类作物学报,2021,41(1):88-95.
- [6] 戴相林,马瑞萍,廖文华,等.不同土壤含水量下施氮量及施氮时期对西藏春小麦农艺性状和产量的影响[J].西南农业学报,2017,30(6):1382-1389.
- [7] 代丽婷,刘宁涛,车京玉,等.氮肥用量对春小麦灌浆特性、产量及其构成因素的影响[J].黑龙江农业科学,2022(5):29-33.
- [8] 中华人民共和国农业部.农作物品种(小麦)区域试验技术规程:NY/T 1301—2007[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [9] 张玉玲.氮素营养对不同年代小麦主栽品种产量和品质及其生理机理的影响[D].泰安:山东农业大学,2006.
- [10] 吴鹏,李福建,于倩倩,等.耕作与播种方式、密度和施氮量对稻茬小麦幼苗质量的影响[J].麦类作物学报,2021,41(1):72-80.
- [11] 吴立峰,张富仓,张鹏,等.灌水和施氮对甘肃河西绿洲春小麦生长及产量的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(7):55-63.
- [12] 孙军伟,杨子光,孟丽梅,等.北部冬麦区旱地小麦品种主要农艺性状的演变规律[J].山西农业科学,2018,46(7):1078-1080,1084.
- [13] 贾永红.水肥耦合对春小麦干物质和产量的影响[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2012.
- [14] 祁静玉,蒋桂英,李彦旬.减量施氮对滴灌春小麦群体结构和产量的影响[J].新疆农业科学,2018,55(4):609-617.
- [15] 姚战军,杨玉锋,陈若英,等.限水灌溉与施氮方式对小麦群体动态及产量的影响[J].河南农业科学,2011,40(8):63-66.
- [16] 李双双,李晶,陈龙涛,等.施氮量对春小麦根系生长及产量的影响[J].麦类作物学报,2013,33(1):141-145.
- [17] 李国强,汤亮,张文宇,等.施氮量对不同株型小麦品种叶型垂直分布特征的影响[J].作物学报,2011,37(1):127-137.
- [18] 郝代成,高国华,朱云集,等.施氮量对超高产冬小麦花后光合特性及产量的影响[J].麦类作物学报,2010,30(2):346-352.
- [19] 刘若楠,姬虎太,王敏,等.山西省 58 个小麦品种产量性状间的相关分析[J].甘肃农业科技,2020(9):31-35.
- [20] 李升东,王法宏,司纪升,等.氮肥管理对小麦产量和氮肥利用效率的影响[J].核农学报,2012,26(2):403-407.
- [21] 刘其,刁明,王江丽,等.施氮对滴灌春小麦干物质、氮素积累和产量的影响[J].麦类作物学报,2013,33(4):722-726.
- [22] 张磊,邵宇航,谷世禄,等.减量施氮下基肥后移对南方冬小麦产量和氮素利用效率的影响[J].应用生态学报,2016,27(12):3953-3960.
- [23] 魏艳丽,王彬龙,李瑞国,等.关中地区施氮量对小麦绿叶性状及产量的影响[J].陕西农业科学,2021,67(10):85-87.
- [24] 杨永乐,金彦刚,任仰涛,等.播期、密度和氮肥运筹对瑞华麦 520 产量和品质的影响[J].麦类作物学报,2021,41(3):348-354.
- [25] 贾志锋.施氮量和播种密度对高寒区燕麦种子产量及其相关性状的影响研究[D].兰州:甘肃农业大学,2021.
- [26] 张耀兰,齐华,金路路,等.氮肥对春小麦叶片光合特性的影响[J].辽宁农业科学,2005(6):5-7.

(下转第 18 页)

- [20] 张洋. 几个玉米自交系主要性状的配合力分析[J]. 种子, 2018, 37(6): 7-9.
- [21] 石云素. 玉米种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 14-23.
- [22] 姚玉波, 赵东升, 刘继忠, 等. 13 份玉米自交系配合力分析[J]. 黑龙江农业科学, 2022(8): 91-95.
- [23] 李顺富. 鲜食糯玉米主要性状遗传与杂种优势利用研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2011.
- [24] 张振良, 薛林, 黄小兰, 等. 10 个糯玉米自交系育种潜力分析[J]. 南方农业学报, 2017, 48(9): 1560-1567.
- [25] 龙凤, 李承波, 彭忠华. 6 个新选玉米自交系的配合力分析[J]. 种子, 2021, 40(8): 111-115.

Combining Ability of Tibetan Maize Landraces

HU Wenping, LI Wenhai, HOU Zhongxiang, Phurbu Samdrup, ZONG Baji, LI Menghan

(College of Plant Science, Tibet Agricultural and Animal Husbandry University, Nyingchi 860000, China)

Abstract: In order to evaluate genetic advantages from Tibetan maize landraces, 6 Tibetan maize landraces and 5 hybrids were selected. A total of 30 hybrid combinations were prepared by incomplete two-row cross technology. The general combining ability (GCA) of parents and the special combining ability (SCA) of F_1 with 11 agronomic traits were analyzed. The results showed that DF125 and DF128 which had higher GCA effect values could be used as parents for cross breeding; The F_1 of cross combinations with higher special cooperating power DF220 \times Zhaohe A79 can be used as high-yielding cross combinations to match high-yielding variety, DF125 \times Wugu 703, DF128 \times Jidan 12, DF125 \times Wugu 214, DF135 \times Jidan 17, DF174 \times Jidan 12 can be used to match medium-high yielding varieties in Tibet.

Keywords: Tibet; maize; general combining ability (GCA); specific combining ability (SCA)

(上接第 11 页)

Effects and Mechanism of Nitrogen Application on the Agronomic Characters and Yield of Spring Wheat

DAI Liting¹, CHE Jingyu¹, FAN Dongmei², LIU Ningtao¹, ZHANG Qichang¹, TIAN Chao¹, YIN Xuewei¹

(1. Keshan Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161000, China; 2. Qiqihar City Longsha District Agricultural Comprehensive Service Center, Qiqihar 161005, China)

Abstract: In order to promote the widespread increase in yield and cultivation of the Kechun 130290 wheat variety, as well as to improve fertilizer efficiency, field experiments were conducted to determine the agronomic traits, yield, and yield components of spring wheat under seven fertilization levels. Correlation analysis was performed to study the effects of nitrogen application on the agronomic traits and yield of spring wheat, as well as the underlying mechanisms. The results showed that plant height and number of stems reached large values when N was applied at $75 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, while the increase in N application did not increase them much but even decreased them; Changes in ear length, sterile spike number, spike number and volume weight were not significant when N were applied at $0-90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. The highest yield of $5\,791.67 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ was achieved at $67 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ of pure N, but the yield decreased with additional N fertilizer, which was not significant; The differences in spike grain number were not significant and the differences spike number and 1 000-grain weight were significant, with the highest spike number of $7\,146\,700 \text{ spikes} \cdot \text{ha}^{-1}$ at $75 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ of N, with the highest 1 000-grain weight of 34.13 g at $67 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ of N. Plant height was highly positively correlated with yield, and spike number was positively correlated with yield, with correlation coefficients of 0.82 and 0.54 respectively, both of which contributed to yield. The correlations between the other agronomic characters and yield components were not significant. In summary, the appropriate N application rate for this spring wheat variety Kechun 130290 in Keshan County of Heilongjiang Province is $67-75 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ under the conditions of this experiment, taking into account relieving the environmental stress caused by N fertilizer application.

Keywords: spring wheat; nitrogen; agronomic characters; yield