รายละเอียดการแก้ไขหลักสูตร (สมอ.08)
หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเกษตรศาสตร์
หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2559

คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
จังหวัดปทุมธานี

รายละเอียดการแก้ไขหลักสูตร (สมอ.08)
หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเกษตรศาสตร์
หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2559

ชื่อสถาบันอุดมศึกษา : มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี
คณะ/วิทยาลัย : เทคโนโลยีการเกษตร

1. รหัสและชื่อหลักสูตร

รหัสหลักสูตร : 25491531106361
ภาษาไทย : หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเกษตรศาสตร์
ภาษาอังกฤษ : Bachelor of Science Program in Agriculture

2. ชื่อปริญญาและสาขาวิชา

ภาษาไทย ชื่อเต็ม : วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
ชื่อย่อ : วท.บ. (เกษตรศาสตร์)
ภาษาอังกฤษ ชื่อเต็ม : Bachelor of Science (Agriculture)
ชื่อย่อ : B.Sc. (Agriculture)

3. สถานภาพของหลักสูตรและการพิจารณาอนุมัติ/เห็นชอบหลักสูตร

☑ หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2559 ฉบับดังกล่าวนี้ได้รับทราบการให้ความเห็นชอบ จากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา เมื่อวันที่ 7 เดือน กันยายน 2559

☑ หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2559 เริ่มใช้ตั้งแต่ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษาที่ 2559

☑ สถานะ การแก้ไขปรับปรุงหลักสูตรเล็กน้อย (สมอ.08)

ปรับปรุงหลักสูตรเล็กน้อย (สมอ.08) พ.ศ.	เริ่มใช้ภาคการศึกษา/ปีการศึกษา	ครั้งที่/ วัน-เดือน-ปี สภาวิชาการเห็นชอบ	ครั้งที่/ วัน-เดือน-ปี สภามหาวิทยาลัยอนุมัติ
2560	1/2559	5/2560 18 พฤษภาคม 2560	6/2560 1 มิถุนายน 2560
2562	2/2561	6/2562 20 มิถุนายน 2562	8/2562 4 กรกฎาคม 2562
2563	2/2562	1/2563 16 มกราคม 2563	2/2563 6 กุมภาพันธ์ 2563
2563	1/2563		

4. เหตุผลในการปรับปรุงแก้ไข

เนื่องจากมีการรับอาจารย์ใหม่เข้ามาทดแทนตำแหน่งอาจารย์ที่ลาออกจากราชการ เพื่อให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงศึกษาธิการ เรื่อง เกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับปริญญาตรี พ.ศ. 2548 จึงขอปรับคณะกรรมการอาจารย์ประจำหลักสูตรและอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร ในที่ตั้ง มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี จำนวน 1 ราย

5. สาระในการปรับปรุงแก้ไข

จากเดิมผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิษณุ แก้วตะพาน ขอปรับเป็น อาจารย์ธนกร วังสว่าง

ตารางเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างหลักสูตรเดิมกับหลักสูตรฉบับปรับปรุงเล็กน้อย

5.1 การเปรียบเทียบการปรับคณะกรรมการอาจารย์ประจำหลักสูตร และอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

5.1.1 ในสถานที่ตั้ง มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

หลักสูตรปรับปรุงเล็กน้อย พ.ศ. 2563 (เดิม)			หลักสูตรปรับปรุงเล็กน้อย (สมอ.08) พ.ศ. 2563 (ใหม่)			เหตุผล
ชื่อ-นามสกุล	คุณวุฒิ/สาขาวิชา ที่จบ (เรียงคุณวุฒิ เอก/โท/ตรี)	สถาบัน การศึกษาที่จบ /ปีการศึกษาที่จบ	ชื่อ-นามสกุล	คุณวุฒิ/สาขาวิชา ที่จบ (เรียงคุณวุฒิ เอก/โท/ตรี)	สถาบัน การศึกษาที่จบ /ปีการศึกษาที่จบ	
1. อ.ดร.ราชาวดี ยอดเศรณี*	วท.ด. (สัตวศาสตร์) วท.ม. (เกษตรศาสตร์) วท.บ. (เทคโนโลยีการเกษตร)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2558. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2543.	1. อ.ดร.ราชาวดี ยอดเศรณี*	วท.ด. (สัตวศาสตร์) วท.ม. (เกษตรศาสตร์) วท.บ. (เทคโนโลยีการเกษตร)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2558. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2543.	50
2. ผศ.ดร.กรรณิกา อัมพุช*	ปร.ด. (พืชไร่) วท.ม. (เกษตรศาสตร์) วท.บ. (เทคโนโลยีการเกษตร)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2554. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2540.	2. ผศ.ดร.กรรณิกา อัมพุช*	ปร.ด. (พืชไร่) วท.ม. (เกษตรศาสตร์) วท.บ. (เทคโนโลยีการเกษตร)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2554. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2540.	
3. ผศ.สมาพร เรืองสังข์*	M.Sc. (Crop Science and Management) วท.บ. (จุลชีววิทยา)	University of Nottingham, Nottingham, UK. 2554. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.	3. ผศ.สมาพร เรืองสังข์*	M.Sc. (Crop Science and Management) วท.บ. (จุลชีววิทยา)	University of Nottingham, Nottingham, UK. 2554. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.	
4. อ.ศิริพร นามเทศ*	วท.ม. (สัตวศาสตร์) วท.บ. (สัตวศาสตร์)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556.	4. อ.ศิริพร นามเทศ*	วท.ม. (สัตวศาสตร์) วท.บ. (สัตวศาสตร์)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556.	

หลักสูตรปรับปรุงเล็กน้อย พ.ศ. 2562			หลักสูตรปรับปรุงเล็กน้อย (สมอ.08) พ.ศ. 2563			เหตุผล
ชื่อ-นามสกุล	คุณวุฒิ/สาขาวิชา ที่จบ (เรียงคุณวุฒิ เอก/โท/ตรี)	สถาบัน การศึกษาที่จบ /ปีการศึกษาที่จบ	ชื่อ-นามสกุล	คุณวุฒิ/สาขาวิชา ที่จบ (เรียงคุณวุฒิ เอก/โท/ตรี)	สถาบัน การศึกษาที่จบ /ปีการศึกษาที่จบ	
5. อ.ดร.นุชรัฐ บาลลา*	ปร.ด. (พืชสวน) วท.ม. (เทคโนโลยีชีวภาพ) ค.บ. (ชีววิทยา) เกียรตินิยมอันดับ 2	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2553. มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย, 2549.	5. อ.ดร.นุชรัฐ บาลลา*	ปร.ด. (พืชสวน) วท.ม. (เทคโนโลยีชีวภาพ) ค.บ. (ชีววิทยา) เกียรตินิยมอันดับ 2	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2553. มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย, 2549.	
6. ผศ.ดร.พิษณุ แก้วตะพาน*	ปร.ด. (พืชไร่) วท.ม. (พืชไร่) วท.บ. (พืชไร่)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550.	6. อ.ธนกร วังสว่าง*	วท.ม. (พืชไร่) วท.บ. (วิทยาศาสตร์เกษตร) เกียรตินิยมอันดับ 1	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2561. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2557.	เนื่องจากอาจารย์ลาออกจากราชการ

หมายเหตุ * หมายถึงอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

5.1.2 นอกสถานที่ตั้ง มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดสระแก้ว

หลักสูตรปรับปรุงเล็กน้อย พ.ศ. 2563			หลักสูตรปรับปรุงเล็กน้อย (สมอ.08) พ.ศ. 2563			เหตุผล
ชื่อ-นามสกุล	คุณวุฒิ/สาขาวิชาที่จบ (เรียงคุณวุฒิ เอก/โท/ตรี)	สถาบันการศึกษาที่จบ /ปีการศึกษาที่จบ	ชื่อ-นามสกุล	คุณวุฒิ/สาขาวิชาที่จบ (เรียงคุณวุฒิ เอก/โท/ตรี)	สถาบันการศึกษาที่จบ /ปีการศึกษาที่จบ	
1. อ.ปณัท สุขสร้อย*	วท.ม. (สัตวศาสตร์) วท.บ. (เทคโนโลยีการผลิตสัตว์), เกียรตินิยมอันดับ 1	มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2558. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2554.	1. อ.ปณัท สุขสร้อย*	วท.ม. (สัตวศาสตร์) วท.บ. (เทคโนโลยีการผลิตสัตว์), เกียรตินิยมอันดับ 1	มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2558. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2554.	
2. อ.ฉัตรชัย เสนขวัญแก้ว*	วท.ม. (สัตวศาสตร์) วท.บ. (สัตวศาสตร์)	มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2558. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2552.	2. อ.ฉัตรชัย เสนขวัญแก้ว*	วท.ม. (สัตวศาสตร์) วท.บ. (สัตวศาสตร์)	มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2558. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2552.	
3. อ.ดร.เจนจิรา นามี*	ปร.ด. (เกษตรศาสตร์) วท.ม. (เกษตรศาสตร์) วท.บ. (เทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2560. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2557. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2555.	3. อ.ดร.เจนจิรา นามี*	ปรด. (เกษตรศาสตร์) วท.ม. (เกษตรศาสตร์) วท.บ. (เทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2560. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2557. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2555.	52
4. อ.ณัฐกานต์ พิสุทธิ์พิบูลวงศ์*	วท.ม. (พืชสวน) วท.บ. (พืชสวน)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2561. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2557.	4. อ.ณัฐกานต์ พิสุทธิ์พิบูลวงศ์*	วท.ม. (พืชสวน) วท.บ. (พืชสวน)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2561. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2557.	

หลักสูตรปรับปรุงเล็กน้อย พ.ศ. 2563			หลักสูตรปรับปรุงเล็กน้อย (สมอ.08) พ.ศ. 2563			เหตุผล
ชื่อ-นามสกุล	คุณวุฒิ/สาขาวิชา ที่จบ (เรียงคุณวุฒิ เอก/โท/ตรี)	สถาบันการศึกษาที่จบ /ปีการศึกษาที่จบ	ชื่อ-นามสกุล	คุณวุฒิ/สาขาวิชาที่จบ (เรียงคุณวุฒิ เอก/โท/ตรี)	สถาบันการศึกษาที่จบ /ปีการศึกษาที่จบ	
5. อ.ดร.วัชรินทร์ ยุทธวานิชกุล*	วท.ด. (เทคโนโลยีชีวภาพ) วท.ม. (เทคโนโลยีชีวภาพ) วท.บ. (เทคโนโลยีการผลิตพืช)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2559. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2553. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2549.	5. อ.ดร.วัชรินทร์ ยุทธวานิชกุล*	วท.ด. (เทคโนโลยีชีวภาพ) วท.ม. (เทคโนโลยีชีวภาพ) วท.บ. (เทคโนโลยีการผลิตพืช)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2559. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2553. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2549.	
6. อ.จารุนันท์ ไชยนาม*	M.Sc. (Animal Science) วท.บ. (สัตวศาสตร์)	National Ilan University, Taiwan, 2555. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2550.	6. อ.จารุนันท์ ไชยนาม*	M.Sc. (Animal Science) วท.บ. (สัตวศาสตร์)	National Ilan University, Taiwan, 2555. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2550.	

หมายเหตุ * หมายถึงอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

6. ไม่กระทบโครงสร้างหลักสูตรภายหลังปรับปรุงแก้ไข เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างเดิม และเกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับปริญญาตรี พ.ศ. 2548 ของกระทรวงศึกษาธิการ

หมวดวิชา	เกณฑ์ กระทรวงศึกษาธิการ พ.ศ. 2548	หลักสูตร ปรับปรุง เล็กน้อย พ.ศ. 2563 (เดิม)	หลักสูตร ปรับปรุงเล็กน้อย (สมอ.08) พ.ศ. 2563 (ใหม่)
1) หมวดวิชาศึกษาทั่วไป ไม่น้อยกว่า	**30 หน่วยกิต**	**30 หน่วยกิต**	**30 หน่วยกิต**
1.1) กลุ่มวิชาภาษา	-	11 หน่วยกิต	11 หน่วยกิต
1.2) กลุ่มวิชามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์	-	11 หน่วยกิต	11 หน่วยกิต
1.3) กลุ่มวิชาวิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี	-	8 หน่วยกิต	8 หน่วยกิต
2) หมวดวิชาเฉพาะ ไม่น้อยกว่า	**84 หน่วยกิต**	**98 หน่วยกิต**	**98 หน่วยกิต**
2.1) กลุ่มวิชาเนื้อหา ไม่น้อยกว่า	-	91 หน่วยกิต	91 หน่วยกิต
2.1.1) กลุ่มวิชาบังคับ	-	46 หน่วยกิต	46 หน่วยกิต
2.1.2) กลุ่มวิชาเลือก	-	45 หน่วยกิต	45 หน่วยกิต
2.2) กลุ่มวิชาปฏิบัติการและฝึกประสบการณ์วิชาชีพ ไม่น้อยกว่า	-	7 หน่วยกิต	7 หน่วยกิต
3) หมวดวิชาเลือกเสรี ไม่น้อยกว่า	**6 หน่วยกิต**	**6 หน่วยกิต**	**6 หน่วยกิต**
หน่วยกิตรวม ไม่น้อยกว่า	**120 หน่วยกิต**	**134 หน่วยกิต**	**134 หน่วยกิต**

รับรองความถูกต้องของข้อมูล
(ลงชื่อ)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ ทรายแก้ว)
อธิการบดี
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี
วันที่ ..... เดือน..... พ.ศ. 2563

รายงานการประชุมคณะกรรมการบริหารหลักสูตร
วท.บ. เกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี
ครั้งที่ ๔/๒๕๖๒
วันศุกร์ที่ ๓ เดือนเมษายน พ.ศ. ๒๕๖๓
ผ่านโปรแกรมซูม (Zoom)
****

กรรมการผู้มาประชุม

๑. อ.ดร.ราชาวดี ยอดเศรณี	ประธานกรรมการ
๒. ผศ.สมาพร เรืองสังข์	กรรมการ
๓. อ.ศิริพร นามเทศ	กรรมการ
๔. อ.ดร.นุชรัฐ บาลลา	กรรมการ
๕. ผศ.ดร.กรรณิกา อัมพุช	กรรมการและเลขานุการ

ผู้เข้าร่วมประชุม

๑. รศ.ดร.ศรีน้อย ชุ่มคำ
๒. ผศ.ดร.คมกฤษณ์ แสงเงิน
๓. อ.ธนกร วังสว่าง

เริ่มประชุม เวลา ๑๓.๐๐ น.

ระเบียบวาระที่ ๑ เรื่องที่ประธานแจ้งให้ที่ประชุมทราบ

๑.๑ การรับการตรวจประเมินคุณภาพภายในระดับหลักสูตรประจำปีการศึกษา ๒๕๖๒

๑) ประธานได้แจ้งวันตรวจประเมินคุณภาพการศึกษาภายในระดับหลักสูตรประจำปีการศึกษา ๒๕๖๒ คือวันพุธที่ ๑๗ มิถุนายน ๒๕๖๓ โดยมีรายชื่อกรรมการตรวจดังนี้

๑. ผศ.ฉวีวรรณ บุญเรือง ตำแหน่งประธานกรรมการ สังกัดคณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มีความเชี่ยวชาญด้านโรคพืชและศัตรูพืช

๒. ผศ.ดร.ณิฐิมา เฉลิมแสน ตำแหน่งกรรมการ สังกัดคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก มีความเชี่ยวชาญด้านโภชนศาสตร์สัตว์

๓. อ.มัชฌกานต์ เผ่าสวัสดิ์ ตำแหน่งกรรมการและเลขานุการ สังกัดคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ มีความเชี่ยวชาญด้านสารสนเทศ

๒) กำหนดการส่งรายงานการประเมินตนเอง (SAR) ภายในวันที่ ๓๐ พฤษภาคม ๒๕๖๓ ทั้งนี้ให้ผู้รับผิดชอบตัวชี้วัดรวบรวมข้อมูลจากอาจารย์ ศูนย์สระแก้วให้เรียบร้อยก่อนส่งให้ประธานหลักสูตร สำหรับผู้ดูแลตัวชี้วัดซึ่งได้เปลี่ยนแปลงใหม่เนื่องจากมีการปรับเปลี่ยนอาจารย์ทั้งปทุมธานีและสระแก้ว จะดำเนินการแจ้งให้ทราบอีกครั้ง

๓) กำหนดการกรอกข้อมูลเข้าระบบ CHE QA Online ภายในวันที่ ๕ มิถุนายน ๒๕๖๓

๑.๒ แนะนำอาจารย์ประจำหลักสูตรและอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร เนื่องจาก ผศ.ดร.พิษณุ แก้วตะพาน ตำแหน่งอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรเกษตรศาสตร์ แขนงวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช ได้ลาออก

เมื่อวันที่ ๓๑ มกราคม ๒๕๖๓ หลักสูตรจึงได้ดำเนินการประกาศรับสมัครอาจารย์ใหม่เพื่อมาทดแทนตำแหน่งดังกล่าว และผู้ผ่านการคัดเลือกที่มีคุณสมบัติเหมาะสม ได้แก่ อ.ธนกร วังสว่าง ซึ่งมีคุณสมบัติการเป็นอาจารย์ประจำหลักสูตรตามเกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับปริญญาตรี พ.ศ. ๒๕๕๘ เนื่องจากหลักสูตรเกษตรศาสตร์ต้องพัฒนาหลักสูตรในปีนี้ และต้องเตรียมคุณสมบัติอาจารย์ทุกท่านให้มีคุณสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐานฯ ดังกล่าว โดย อ.ธนกรจบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์เกษตร และปริญญาโท สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาเอก ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ชั้นปีที่ ๓ และอยู่ในระหว่างการรองานวิจัยตีพิมพ์วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงพันธุ์ข้าวปทุมธานี ๑ ให้ทนเค็ม และศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาและลำดับเบสของพืช มีความเชี่ยวชาญด้านพืชไร่ และการปรับปรุงพันธุ์พืช และมีผลงานทางวิชาการที่ไม่เกี่ยวข้องกับการใช้ยื่นจบการศึกษา โดยบรรจุเข้าปฏิบัติงานเมื่อวันที่ ๑ เมษายน ๒๕๖๓ สำหรับการมอบหมายงานและการกำหนดอาจารย์พี่เลี้ยงจะขอให้ที่ประชุมร่วมพิจารณาในวาระเพื่อพิจารณาต่อไป

๑.๓ การรับสมัครนักศึกษาระดับปริญญาตรีภาคปกติประจำปีการศึกษา ๒๕๖๓

๑) สรุปการรับสมัคร

รวมรอบ ๑-๓	เทคโนโลยีการผลิตพืช (คน)	สัตวศาสตร์ (คน)
ชำระค่าเทอมเต็ม	๒	-
ชำระ ๑,๕๐๐ บาท	๒	๑
รวม	๔	๑

รอบ ๔ (๖ กพ. – ๓๐ มีค. ๖๓)	เทคโนโลยีการผลิตพืช (คน)	สัตวศาสตร์ (คน)
จำนวนผู้สมัคร	๕	๕
ชำระค่าสมัคร	๒	๑

กำหนดการคัดเลือกนักศึกษาในวันที่ ๘ เมษายน ๒๕๖๓ ทั้งนี้เนื่องด้วยสถาณการณ์โรคระบาด หลักสูตรจึงปรับวิธีการคัดเลือกจากการให้นักศึกษามาสอบสัมภาษณ์ที่คณะ เป็นให้ผู้สมัครจัดทำคลิปแนะนำตัวเองเป็นเวลา ๓ นาทีแล้วส่งให้ทางหลักสูตรพิจารณาหรือโทรศัพท์สัมภาษณ์แทน

๒) กำหนดการรับสมัครรอบที่ ๕-๗

รอบที่	กำหนดการรับสมัคร
๕	๑๗-๒๗ เมษายน ๒๕๖๓
๖	๗-๒๐ พฤษภาคม ๒๕๖๓
๗	๙-๑๔ มิถุนายน ๒๕๖๓

๑.๔ ปฏิทินวิชาการปีการศึกษา ๒๕๖๒

กำหนดการ	ระยะเวลา
วันส่งเกรดวันสุดท้าย	๓ เมษายน ๒๕๖๓
ส่ง มคอ.๕	ภายใน ๑๕ เมษายน ๒๕๖๓
ส่ง มคอ.๓	ภายใน ๒ มิถุนายน ๒๕๖๓
ตรวจประกันฯ หลักสูตร	๑๗ มิถุนายน ๒๕๖๓
เปิดภาคเรียน ๑/๒๕๖๓	๒๒ มิถุนายน ๒๕๖๓

๑.๕ การทวนสอบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ประจำภาคเรียนที่ ๒/๒๕๖๒

๑) การทวนสอบร้อยละ ๑๐๐

โดยใช้คะแนนค่าเฉลี่ยความพึงพอใจข้อ ๑๓ และ ๑๕ จากระบบ CMS และระบุลงใน มคอ.๕ ของทุกรายวิชา

๒) การทวนสอบร้อยละ ๒๕

โดยการทวนสอบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ร้อยละ ๒๕ สำหรับภาคเรียนที่ ๑ และ ๒ คนละ ๔ วิชา (เทอมละ ๒ วิชา) จะได้รายวิชาทั้งหมด ๒๕ รายวิชา และขอข้อมูลความทันสมัยของรายวิชาในภาคเรียนที่ ๒/๒๕๖๒ สำหรับ อ.นุชรัฐ ทำเฉพาะรายวิชา ๒/๒๕๖๒

โดยข้อ ๑) และ ๒) ส่งให้ ผศ.ดร.กรรณิกา ทางอีเมล์ kannika.um@vru.ac.th

๓) การจัดทำ มคอ.๕

หมวด ๖ ใส่เรื่องการปรับปรุงรายละเอียดในการสอนครั้งต่อไป

๑.๖ ยกเลิกและเลื่อนกิจกรรมต่างๆ ในช่วงของการระบาดของโรค COVID-๑๙

๑) ยกเลิกกิจกรรมปฐมนิเทศนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพเกษตรศาสตร์ สำหรับนักศึกษารหัส ๖๐ และ รหัส ๖๑ วันอังคารที่ ๒๔ มีนาคม ๒๕๖๓ เวลา ๑๓.๓๐-๑๕.๐๐ น.

๒) ปรับรูปแบบกิจกรรมปัจฉิมนิเทศคณะฯ เปลี่ยนรูปแบบให้นักศึกษาดูคลิปการสัมภาษณ์งาน ผ่านเพจคณะเทคโนโลยีการเกษตร ในวันพฤหัสบดีที่ ๒๖ มีนาคม ๒๕๖๓

๓) เลื่อนการออกฝึกประสบการณ์วิชาชีพเกษตรศาสตร์จากเดิมระหว่างเมษายน-พฤษภาคม ๒๕๖๓ (เตรียมฝึกฯ) ของนักศึกษารหัส ๖๑ ดังนี้

กลุ่มที่	เทคโนโลยีการผลิตพืช (ผศ.สมาพร)	สัตวศาสตร์ (รศ.ดร.ศรีน้อย)
๑	ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี จำนวน ๖ คน	ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์หนองกวาง จังหวัดราชบุรี จำนวน ๓ คน เลื่อนเป็น ๒ มิถุนายน ๒๕๖๓
๒	บริษัท ไทย แอ็กโกร เอ็กเซนจ์ จำกัด (ตลาดไทย) จำนวน ๒ คน	
๓	Fresh Ville Farm จำนวน ๑ คน	

สำหรับกำหนดการใหม่ของแขนงเทคโนโลยีการผลิตพืชและการกำหนดอาจารย์นิเทศขอนำไปพิจารณาในวาระเพื่อพิจารณา

๑.๗ การลงวิชา GE ไม่เหมือนกันของนักศึกษาชั้นปีที่ ๒ (รหัส ๖๑)

เนื่องจากที่ผ่านมามหาวิทยาลัยให้นักศึกษาสามารถเลือกเรียนได้ตามอิสระ ส่งผลให้เกิดปัญหาตามมาดังนี้คือ หมู่เรียนเดียวกันไม่ได้เรียนด้วยกัน นักศึกษามีเวลาว่างไม่ตรงกันหากวิชาเอกบางวิชาต้องการสอนเพิ่ม จำนวนหน่วยกิตไม่ตรงกันเพราะวิชา GE มีจำนวนหน่วยไม่เท่ากัน และไม่สามารถปรับ

ตารางวิชาเอกได้ จึงขอให้อาจารย์ที่ปรึกษาหมู่เรียนช่วยดูแผนการเรียนของนักศึกษาในแต่ละเทอมให้จองรายวิชาเป็นไปในทิศทางเดียวกันให้ได้มากที่สุดเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาดังกล่าว

๑.๘ การเตรียมความพร้อมการจัดการเรียนการสอนแบบออนไลน์

เนื่องจากสถาณการณ์การแพร่ระบาดของโรค COVID-๑๙ จึงทำให้หลักสูตรต้องจัดการเรียนการสอนแบบออนไลน์ ดังนั้น จึงขอให้อาจารย์ทุกท่านเตรียมความพร้อมในการสอนออนไลน์ ตลอดจนการสร้างคอร์สเรียนแบบออนไลน์ และการลงเรียนแบบออนไลน์ เพื่อให้สอดคล้องกับสถาณการณ์

๑.๙ การพัฒนาหลักสูตร

เนื่องจากในปีนี้หลักสูตรถึงรอบการพัฒนาหลักสูตรดังนั้น เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อม อาจารย์สามารถดำเนินการได้ดังนี้

๑) นำเนื้อหารายวิชาใหม่ๆ ลองสอนในภาคเรียนที่ ๑/๒๕๖๓

๒) อบรมพัฒนาตนเองให้สอดคล้องกับรายวิชา

๓) ปรึกษากันในแต่ละแขนงถึงทิศทางของรายวิชา

๔) ปรับคำอธิบายรายวิชาล่วงหน้า

ทั้งนี้ ให้เตรียมพร้อมรับ มคอ.๑ เกษตรศาสตร์ หรือ มคอ.๑ สัตวศาสตร์

มติที่ประชุม : รับทราบ

ระเบียบวาระที่ ๒ เรื่องรับรองรายงานการประชุมครั้งที่แล้ว

ประธานที่ประชุม เสนอรายงานการประชุมคณะกรรมการบริหารหลักสูตรเมื่อวันที่ ๑ เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๖๒ ให้ที่ประชุมเพื่อพิจารณารับทราบและรับรองรายงานการประชุม

มติที่ประชุม

รับทราบและรับรองรายงานการประชุม

ระเบียบวาระที่ ๓ เรื่องสืบเนื่องจากการประชุมครั้งที่แล้ว

๓.๑ การลาศึกษาต่อของ อ.ศิริพร นามเทศ

ประธานได้สอบถามความก้าวหน้าในการเรียนระดับปริญญาเอกของ อ.ศิริพร นามเทศ โดย อ.ศิริพร ได้ชี้แจงดังนี้

ได้เริ่มเรียนมาแล้ว ๑ ภาคการศึกษาซึ่งใกล้จบภาคเรียนที่ ๑ ขณะนี้กำลังทำวิทยานิพนธ์ วิชาเรียนมีเพียงวิชาสัมมนา และไม่พบปัญหาในการเรียน

๓.๒ การขอข้อมูลจากอาจารย์เพื่อนำลงเวบไซต์หลักสูตร

เนื่องจากยังได้ข้อมูลไม่ครบถ้วนและเป็นปัจจุบัน โดยเฉพาะโรงเรือนและห้องปฏิบัติการที่อาจารย์แต่ละคนรับผิดชอบ จึงขอให้อาจารย์ที่ยังไม่ดำเนินการ เร่งดำเนินการให้เรียบร้อยโดยการส่งภาพให้กับเลขานุการหลักสูตรเพื่อดำเนินการต่อไป

๓.๓ การมอบหมายอาจารย์ที่ปรึกษาหมู่เรียน

เนื่องจากเดิมได้มอบหมายให้ อ.ดร.นุชรัฐ เป็นที่ปรึกษาหมู่เรียนนักศึกษารหัส ๖๓ แทน ผศ.ดร.ณัฐพงค์ และเนื่องจากในครั้งนี้มีการรับอาจารย์ใหม่ จึงจะขอให้ที่ประชุมพิจารณาที่ปรึกษาหมู่เรียนใหม่อีกครั้งเพื่อให้เกิดความเหมาะสม ในวาระเพื่อพิจารณา

มติที่ประชุม : รับทราบ

ระเบียบวาระที่ ๔ เรื่องเสนอเพื่อทราบ

ไม่มี

ระเบียบวาระที่ ๕ เรื่องเสนอเพื่อพิจารณา

๕.๑ การมอบหมายงานให้กับ อ.ธนกร วังสว่าง และการพิจารณาอาจารย์พี่เลี้ยง

ประธานได้นำเสนองานเดิมที่ ผศ.ดร.พิษณุ รับผิดชอบ และพิจารณาอาจารย์พี่เลี้ยงให้ที่ประชุมรับทราบพร้อมร่วมกันพิจารณา

มติที่ประชุม:

๑) งานที่ได้รับมอบหมายจากหลักสูตร

รายวิชาที่รับผิดชอบ	จำนวน ๖ รายวิชา ได้แก่ - หลักการผลิตพืช - พืชไร่เศรษฐกิจ - ปฐพีวิทยา - เมล็ดพันธุ์และเทคนิคเกี่ยวกับเมล็ดพันธุ์ - การผลิตเมล็ดพันธุ์พืช - การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน
ห้องปฏิบัติการที่รับผิดชอบ	ห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา (ห้อง ก๓๐๑)
โรงเรือน	โรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน
โครงการเตรียมฝึกประสบการณ์วิชาชีพ	โครงการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน
ที่ปรึกษาหมู่เรียน	-
ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ	-
ผู้รับผิดชอบตัวบ่งชี้ประกันหลักสูตร	-
อื่นๆ	เก็บข้อมูลนักศึกษาและศิษย์เก่าร่วมกับอาจารย์ที่ปรึกษาหมู่เรียนเพื่อการจัดทำมคอ.๗ และการพัฒนาหลักสูตร

๒) มอบหมายให้ ผศ.สมาพร เรืองสังข์ เป็นอาจารย์พี่เลี้ยง

๕.๒ การกำหนดอาจารย์ที่ปรึกษาหมู่เรียน

ประธานได้แจ้งให้ที่ประชุมร่วมพิจารณาอาจารย์ที่ปรึกษาหมู่เรียนใหม่ทดแทนอาจารย์ที่ได้ลาออก และที่ปรึกษาหมู่เรียนรหัส ๖๓

มติที่ประชุม:

ปีที่/รหัส	เทคโนโลยีการผลิตพืช	สัตวศาสตร์
๑ / รหัส ๖๓	ผศ.ดร.คมกฤษณ์	อ.ดร.ราชาวดี
๒ / รหัส ๖๒	ผศ.ดร.คมกฤษณ์	ผศ.ดร.กรรณิกา
๓ / รหัส ๖๑	อ.ดร.นุชรัฐ	รศ.ดร.ศรีน้อย
๔ / รหัส ๖๐	ผศ.สมาพร	อ.ศิริพร
๕ / รหัส ๕๙	ผศ.สมาพร (เหลือ น.ส.จิดาภา)	อ.ดร.ราชาวดี

๕.๓ จำนวนนักศึกษาเกษตรศาสตร์ ปัจจุบัน

ประธานได้แจ้งให้ที่ประชุมร่วมพิจารณาจำนวนนักศึกษาคงอยู่เมื่อสิ้นภาคเรียน ๒/๒๕๖๒

มติที่ประชุม: อาจารย์ที่ปรึกษาแต่ละหมู่เรียนที่แจ้งจำนวนนักศึกษาคงอยู่ดังนี้

ปีที่/รหัส	เทคโนโลยีการผลิตพืช (คน)	สัตวศาสตร์ (คน)	รวม (คน)
๑ / รหัส ๖๓	-	-	-
๒ / รหัส ๖๒	๙	๔	๑๓
๓ / รหัส ๖๑	๙	๓	๑๒
๔ / รหัส ๖๐	๒๔	๖	๓๐
๕ / รหัส ๕๙ *ไม่จบตามแผน*	๑๕ *๑ (จิดาภา)*	๑๐ *๑ (เศรษฐพงศ์)*	๒๕
๖ / รหัส ๕๘	-	๑ (ดิฐษกร)	๑
รวม	**๕๗**	**๒๔**	**๘๑**

๕.๔ กำหนดการเตรียมฝึกประสบการณ์วิชาชีพ และฝึกประสบการณ์วิชาชีพ

๑) แขนงวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช ประธานขอให้อาจารย์แขนงวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืชร่วมชี้แจงกำหนดการใหม่ และร่วมพิจารณาอาจารย์นิเทศ สำหรับนักศึกษาหมู่เรียน ๖๑ และ ๖๐

มติที่ประชุม: ผศ.สมาพร ชี้แจงรายละเอียดและแจ้งหน่วยงานฝึกเรื่องกำหนดการใหม่เรียบร้อยแล้วและที่ประชุมมีมติร่วมกันดังนี้

๑.๑ หมู่เรียน ๖๑๑๒๒๕๐๐๐

กำหนดการเตรียมฝึกประสบการณ์วิชาชีพ ระว่างวันที่ ๒๕ พ.ค. – ๑๙ มิ.ย. ๒๕๖๓

รายชื่อนักศึกษา	หน่วยงาน	อาจารย์นิเทศ
นส.ศิริภรณ์ ต้องประสงค์ นายสิรวิชญ์ ศิริอังกุล นายธนายุทธ กันฉุน นส.ปิยะนาถ ศิริมี นส.นันทวรรณ รับขวัญ นายภูริทัศน์ เงินมาก	ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี เดินทาง ๒๔ พ.ค. ๒๕๖๓	ผศ.สมาพร อ.ธนกร
นายธณินทร์ ประทีป ณ ถลาง นายนันทวัฒน์ สาวหยุด	บริษัทไทย แอ็กโกร เอ็กซเชนจ์ จำกัด (ตลาดไท) เดินทาง ๒๕ พ..ค. ๒๕๖๓	ผศ.ดร.คมกฤษณ์ อ.ดร.นุชรัฐ
นายภานุพงษ์ ธัมประเสริฐ	FreshVille Farm รามคำแหง กรุงเทพ เดินทาง ๒๕ พ.ค. ๒๕๖๓	ผศ.ดร.คมกฤษณ์ อ.ดร.นุชรัฐ

๑.๒ หมู่เรียน ๖๐๑๒๒๕๐๐๐

กำหนดการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ-สหกิจศึกษา

รายชื่อนักศึกษา	สถานที่ฝึก	อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์นิเทศ
นส.แคทรียา ธรรมรักษ์ นส.ปวันรัตน์ โฉมจังหรีด ๒๒ มิย.-๓๐ กย. ๒๕๖๓	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรที่สูงเพชรบูรณ์ (เขาค้อ)	สหกิจศึกษา ผศ.สมาพร เรืองสังข์	ผศ.สมาพร
นส.พุทธธิดา สุระขุนทด นส.วิขยา ดำเนินงาม ๒๔ มิย.-๑๘ กย.๒๕๖๓	กลุ่มวิชาเคมี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ มีการทำโปรเจค เป็นปัญหาพิเศษนอกสถานที่ **อ.ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ** หลัก ผศ.สมาพร เรืองสังข์ ร่วม ผศ.ดร.วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ **อ.ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ** หลัก ผศ.สมาพร เรืองสังข์ ร่วม ผศ.ดร.สิริรัตน์ พานิช	ผศ.สมาพร
นส.มณีรัตน์ เครือเพ็ง นส.ชฎาพร สะมะที นส.นารีรัตน์ ประเสริฐอินทร์ นส.จุฑามาศ หงส์แสน นายสุริยา มาลาแดง** ๒๔ มิย.-๑๘ กย.๒๕๖๓	ศูนย์วิจัยวิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี	ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ มีการทำโปรเจค เป็นปัญหาพิเศษนอกสถานที่ **สุริยาฝึกงานแต่ไม่ทำปัญหาพิเศษที่นี่	อ.ธนกร ดร.พิษณุ
นายรัตติธรรม์ บัวเพ็ชร์ ๒๔ มิ.ย.-๑๘ กย. ๒๕๖๓	Fresh Ville Farm	ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ มีการทำโปรเจค เป็นปัญหาพิเศษนอกสถานที่ **อ.ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ** ผศ.สมาพร เรืองสังข์	ผศ.สมาพร
นายศิริศักดิ์ นาคแย้ม นายบุรินทร์ สองห้อง นางสาวชลธิชา ชุ่มมงคล นายกฤษณพงศ์ มิสา นายพีรพล ทับทิมไทย ๒๔ มิย.-๑๘ กย.๒๕๖๓	ฟาร์มชัยพฤกษ์	ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ สถานประกอบการระบุให้มีการทำโปรเจค	ผศ.ดร. คมกฤษณ์
นางสาวจันทิมา ผันนะลา ๒๔ มิย.-๑๘ กย.๒๕๖๓	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรปราจีนบุรี	ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ	ผศ.ดร. คมกฤษณ์
นายศุภณัฐ สมบูรณ์ นส.เพียรกุล เพ็งกุน นส.วีระยา แก้วพูลศรี ๒๔ มิย.-๑๘ กย.๒๕๖๓	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรจันทบุรี	ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ	ผศ.ดร. คมกฤษณ์

นส.กมลชนก แก้วเพชร นส.สุรางคณา นาคพุ่ม ๒๔ มิย.-๑๘ กย.๒๕๖๓	สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ (ไฮโดรโปรนิคส์)	ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ	อ.ดร.นุชรัฐ
น.ส ชลธิชา วงษ์ประดิษฐ์ น.ส อรทัย ศรีสูงเนิน ๒๔ มิย.-๑๘ กย.๒๕๖๓	สวนผักสไตล์คุณ Hydrofresh pattaya	ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ	อ.ดร.นุชรัฐ

๒) การฝึกประสบการณ์วิชาชีพแขนงวิชาสัตวศาสตร์หมู่เรียน ๖๐๑๒๒๕๐๐๒ ประธานขอให้ อ.ศิริพร รายงานความคืบหน้าในการหาสถานที่ฝึกงาน พร้อมให้ที่ประชุมร่วมพิจารณา โดย อ.ศิริพร ได้แจ้งให้ที่ประชุมทราบว่ากำหนดการเดิมคือ มิถุนายน-กันยายน ๒๕๖๓ โดยบริษัท แหลมทองสหการ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และบริษัท เอส. ดับบลิว. ฟู้ดเทค จำกัด เป็นบริษัทเกี่ยวกับการแปรรูปไข่ไก่ อยู่จังหวัดชลบุรี ในขณะนี้งดรับนักศึกษาฝึกงานออกไปก่อน

มติที่ประชุม: ที่ประชุมมีมติร่วมกันดังนี้

รายชื่อนักศึกษา	หน่วยงาน	มติที่ประชุม
นส.ยุพารัตน์ กวางแก้ว นส.สาวิตรี ยอดวิเศษ นส.พรนภา ทนงรบ นายพีระพัฒน์ บุญชื่น	บริษัท แหลมทองสหการ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	๑. หากสถาณการณ์คลี่คลาย ให้ อ.ศิริพร ติดต่อใหม่อีกครั้ง ๒. กรณีของวิลาสินี หากสามารถฝึกงานได้ในเทอมหน้า ควรจะให้ออกฝึกเนื่องจากเป็นนักศึกษาเทียบโอนเหลือเพียงฝึกงานวิชาเดียวจะจบการศึกษา และควรขอฝึกงานฟาร์มเพิ่มเติม
นส.เกศรินทร์ ขำอุปถัมภ์ นส.วิลาสินี ทวีแสง	บริษัท เอส. ดับบลิว. ฟู้ดเทค จำกัด จังหวัดชลบุรี	

๕.๕ ตารางสอนประจำปีการศึกษา ๒๕๖๓

๑) ประธานขอให้ที่ประชุมร่วมกันตรวจสอบรายวิชา ผู้สอน และแผนการเรียนตลอดปีการศึกษา ๒๕๖๓ อีกครั้งเนื่องจากแผนการเรียนนักศึกษาที่ผ่านมาได้ถูกยุบหมู่เรียนให้เรียนร่วมกันระหว่างเทคโนโลยีการผลิตพืชและสัตวศาสตร์ตั้งแต่ปีการศึกษา ๒๕๖๑ ส่งผลให้มีการสลับวิชาระหว่างเทอม ๑ และเทอม ๒

มติที่ประชุม : ที่ประชุมมีมติร่วมกันดังนี้

๑. เทอม ๑/๖๓ เปลี่ยนชื่อผู้สอนวิชา เมล็ดพันธุ์และเทคนิคเกี่ยวกับเมล็ดพันธุ์ (AAG๓๑๗) จากเดิม ผศ.ดร.คมกฤษณ์ แสงเงิน เป็น อ.ธนกร วังสว่าง

๒. เทอม ๑/๖๓ เปลี่ยนชื่อผู้สอนวิชา หลักการผลิตพืช (AAG๑๑๑) จาก ผศ.สมาพร เรืองสังข์ เป็น อ.ธนกร วังสว่าง

๕.๖ การจัดทำแบบประเมินต่างๆ ในรูป google from

เนื่องจากหลักสูตรต้องจัดทำแบบประเมินสำหรับทำโครงการต่างๆ ของหลักสูตรในปีการศึกษา ๒๕๖๓ จึงขอให้ที่ประชุมร่วมกันพิจารณาผู้รับผิดชอบจัดทำแบบสอบถามตามโครงการดังต่อไปนี้

๑) โครงการพัฒนานักศึกษา ทุกชั้นปี

๒) โครงการปรับปรุงหลักสูตร สำหรับปี ๔ และ ศิษย์เก่า

มติที่ประชุม: ที่ประชุมมีมติเบื้องต้นดังนี้

แบบสอบถาม (Google Form)	ผู้จัดทำ
โครงการพัฒนานักศึกษาสำหรับนักศึกษาทุกชั้นปี	อ.ดร.นุชรัฐ
โครงการปรับปรุงหลักสูตร สำหรับปี ๔ และ ศิษย์เก่า	อ.ดร.ราชาวดี

ปิดประชุม เวลา ๑๖.๓๐ น.

(ลงชื่อ) ..... ผู้จดรายงานการประชุม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรรณิกา อัมพุช)
กรรมการและเลขานุการหลักสูตร

(ลงชื่อ) ..... ผู้ตรวจรายงานการประชุม
(อาจารย์ ดร.ราชาวดี ยอดเศรณี)
ประธานหลักสูตร

Accepted: 11 December 2017
DOI: 10.1111/jac.12264

64

WILEY Journal of Agronomy and Crop Science

A salinity-tolerant japonica cultivar has Na^+ exclusion mechanism at leaf sheaths through the function of a Na^+ transporter OsHKT1;4 under salinity stress

T. Wangsawang[1] | S. Chuamnakthong[2] | E. Kohnishi[2] | P. Sripichitt[1] | T. Sreewongchai[1] | A. Ueda[2]

[1]Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, Thailand
[2]Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima, Japan

Correspondence
A. Ueda, Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima, Japan.
Email: akiueda@hiroshima-u.ac.jp

Funding Information
the Capacity Building of Kasetsart University Students on Internationalization Program; JSPS KAKENHI, Grant/Award Number: JP15KK0283, JP16K07643

Abstract

This study was designed to investigate differences in patterns of physiological responses to salinity stress among five japonica rice cultivars in comparison with FL478 as a salinity tolerance check. Five japonica cultivars were screened for salinity tolerance at seedling stage based on visual symptoms of salt injury index and physiological parameters including dry matter production, electrolyte leakage ratio and ion concentration. The results indicated that cultivars Ouukan383 and FL478 were relatively more salinity tolerant than other cultivars and that Kanniho was the most salinity-sensitive cultivar. Ouukan383 showed higher leaf water content and lower electrolyte leakage ratio under salinity stress. Notably, under salinity stress, Na^+ concentration in the leaf blades was much lower in Ouukan383 than in FL478, but was much higher in Kanniho. To understand the basis for these differences, we studied transcript levels of the genes encoding Na^+ transport proteins in different tissues. In response to salinity stress, Ouukan383 had highly induced expression of the *OsHKT1;4* gene in the leaf sheaths, corresponding to higher Na^+ accumulation in the leaf sheaths and lower Na^+ accumulation in the leaf blades. On the other hand, the sensitive cultivar, Kanniho, had highly induced expression of the *OsSOS1* and *OsNHX1* genes in the leaf blades, whose gene products are responsible for Na^+ efflux outside cells and Na^+ compartmentalization into vacuoles. Thus, the salinity-tolerant and salinity-sensitive cultivars differed in their responses to Na^+ fluxes in plant cells using different transport systems in each tissue type. The salinity-tolerant japonica cultivar, Ouukan383, has an effective Na^+ exclusion mechanism at the leaf sheaths to prevent Na^+ accumulation in the leaf blades. Such a mechanism, in combination with other genetic traits (e.g. Na^+ exclusion at the roots mediated by OsHKT1;5), offers the potential to improve salinity tolerance in rice.

KEYWORDS
Na^+ exclusion, OsHKT1;4, OsHKT1;5, OsNHX1, OsSOS1, salinity tolerance

1 | INTRODUCTION

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the most important cereals in the tropics and subtropics, but is sensitive to salinity (Flowers, Garcia, Koyama, & Yeo, 1997). Salinity stress is caused by excessive uptake of toxic ions from soils, which decreases plant growth and yield (Boyer, 1982). Grain yield of rice plants is reduced by 70% to 100% of its maximum yield performance due to salinity (Heenan, Lewin, &

McCatery, 1988). Challenges to increasing food production could be overcome by reducing the effects of salt stress on rice plants. Therefore, it is essential to understand the mechanisms that could make rice plants more salinity tolerant.

Under salinity stress, plants must cope with two major stresses, osmotic and ionic stresses. The former stress is immediately induced with a rise in salt concentrations outside the roots, which leads to inhibition of water uptake, cell expansion and lateral bud development (Munns & Tester, 2008). The latter stress develops later when toxic ions, such as Na^+, accumulate in plants over the threshold particularly in leaves, which leads to an increase in leaf mortality due to chlorosis and necrosis and a decrease in the activity of essential cellular metabolisms including photosynthesis (Glenn, Brown, & Blumwald, 1999; Ueda, Kanechi, Uno, & Inagaki, 2003; Yeo & Flowers, 1986). Recent physiological and molecular genetic studies have shed more light on the protection mechanisms that rice plants use to cope with detrimental effects of salinity stress (Blumwald, 2000; Horie, Hauser, & Schroeder, 2009; Pardo, Cubero, Leidi, & Quintero, 2006; Zhu, 2002).

The transmembrane movement of Na^+ and K^+ in plants is mediated by several types of transporters and/or channels (Yao et al., 2010), and many transporters have been implicated in leaf Na^+ exclusion. These include members of the high-affinity K^+ transporters (*HKTs*), including *Arabidopsis thaliana HKT* (*AtHKT1;1*) and its ortholog in rice (*OsHKT1;5*), which retrieve Na^+ from the xylem to the surrounding parenchyma cells (Horie et al., 2009; Ren et al., 2005). However, other *HKTs* such as *OsHKT2;1* (*OsHKT1*) and *OsHKT2;4* are expressed in the outer part of the root and in the root hairs and may provide entry points for Na^+ into plant roots from the soil (Lan et al., 2010; Schachtman & Schroeder, 1994). Plasma membrane protein 3 (*PMP3*) is a small hydrophobic peptide that plays a role in shoot Na^+ exclusion by preventing excess Na^+ entry into the plant roots (Inada, Ueda, Shi, & Takabe, 2005; Nylander et al., 2001). In addition, the SOS1 antiporter has been shown to be localized at the plasma membrane of Arabidopsis, where it catalyses Na^+/H^+ exchange (Shi, Quintero, Pardo, & Zhu, 2002). The preferential expression of *SOS1* in cells surrounding the vasculature throughout the plant, as demonstrated by the *GUS* reporter gene, suggests that this transporter plays a role in long-distance Na^+ transport in plants, as Na^+ is transported from the root to the shoot via the xylem. In addition, the *O. sativa SOS1* (*OsSOS1*) has been shown to complement the function of *SOS1* in the *sos1* mutant of Arabidopsis, indicating the conservation of the salt-sensitive pathway in rice (Martinez-Atienza et al., 2007). In addition to Na^+ exclusion, plants may avoid toxic Na^+ accumulation in the cytosol by sequestering excess Na^+ into vacuoles, which is a process mediated by the Na^+/H^+ antiporter (*NHX1*) localized in vacuolar membranes (Venema, Quintero, Pardo, & Donaire, 2002). However, these transporters only function to counteract the activities of other transporters that are known to induce Na^+ influx into roots. This may occur through cyclic nucleotide-gated channels (CNGCs), which are considered the dominant pathways of Na^+ influx in many plants (Roberts & Tester, 1997). Potential relevance of the aquaporin for Na^+ entry into roots is also discussed (Byrt et al., 2017). A model of synergistic modulation of Na^+ homoeostasis through Na^+ transporters was proposed in a halophytic grass (Zhang et al., 2017). Besides these transporters, transcription factors also participate in regulation of Na^+ accumulation through transcriptional activation (Almeida, Gregorio, Oliveira, & Saibo, 2017).

Although rice, one of the major food crops mainly in Asia, is highly sensitive to salinity stress, there are marked differences in salinity tolerance among rice cultivars (Lee, Choi, Ko, Kim, & Gregorio, 2003; Munns & Termaat, 1986; Yeo & Flowers, 1986). Comparison of varietal differences in rice plants will be helpful to identify the mechanisms of salinity tolerance. Such varietal differences include differences in parameters such as plant growth rate in length and weight, plant survival and plant physiological features (Mekawy et al., 2015; Ueda et al., 2013; Yeo, Yeo, Flowers, & Flowers, 1990) in addition to ion exclusion capacity (Noble & Rogers, 1992). However, salinity-tolerant cultivars were found in the indica subspecies including the aromatic and aus alleles (Platten, Egdane, & Ismail, 2013), and these have similar salinity tolerance mechanisms with Na^+ exclusion from shoots. On the other hand, salinity-tolerant cultivars have been rarely identified in the japonica subspecies. In this study, we screened japonica cultivars and investigated the mechanisms of salinity tolerance. A highly salinity-tolerant japonica cultivar was identified. This cultivar was found to have effective Na^+ exclusion mechanisms at the leaf sheaths. Such a mechanism may be essential for maintenance of lower Na^+ concentrations in the leaf blades.

2 | MATERIALS AND METHODS

2.1 | Plant materials and growth conditions

Five japonica rice cultivars (Fukuizumi, Midorimai, Ouukan383, Shitan and Kanniho) and one indica salinity-tolerant cultivar (FL478) were used in this study (Walia et al., 2005). FL478 is one of the recombinant inbred lines created using the salinity-tolerant landrace Pokkali and has salinity tolerance comparable to Pokkali (Walia et al., 2005). After incubation in tap water at 60°C for 10 mins, seeds of each cultivar were surface-sterilized with 5% (v/v) sodium hypochlorite solution for 30 mins and then imbibed at 30°C for 24 hrs. The seeds were transferred onto a nylon mesh floating in 2 L (two liters) plastic pots containing tap water in a growth chamber at 28°C for 2 days. Uniformly germinated seeds were grown in half-strength Kimura B solution. Seedlings were grown in a growth chamber at 28/25°C (16 hrs light period/8 hrs dark period) under a photosynthetic photon flux density of 400/0 μmol m^{-2} s^{-1} (day/night) at relative humidity of 70%. At day 16, the nutrient solution was replaced with salinized nutrient solution initially at 25 mM. Thereafter, the concentration of salinity was increased to 50, 75 and 100 mM over 3 days, respectively. Nutrient solution without NaCl addition (0 mM NaCl) was used as a control for comparisons. The pH of nutrient solutions was maintained between 5.0 and 5.5 with 2 N HCl or 2 N NaOH throughout the growth period. The nutrient solution was

renewed every 3 days, and water lost by evapotranspiration was compensated for by daily addition of tap water. Salt stress symptoms were evaluated according to the standard evaluation system (SES) used at the International Rice Research Institute (IRRI) with some modifications (Gregorio, Senathira, & Mendaza, 1997). For visual damages, seedlings were scored as follows: 1 (highly tolerant), 3 (tolerant), 5 (moderate), 7 (sensitive) and 9 (highly sensitive). The experiment was arranged in a completely randomized design (CRD) with four replications.

2.2 | Physiological parameters

After 12 days of salinity treatment, the fresh weight (FW) of 28-day-old seedlings was measured following the separation of leaves, sheaths and roots. For dry weight (DW) determination, leaves, sheaths and roots were dried at 70°C for 3 days prior to being weighed. The water content in the leaf blades was calculated using the equation (FW-DW)/FW.

To determine electrolyte leakage ratio (ELR), the second leaves from the top of the plants were cut into 5 mm length and placed in test tubes containing 30 ml of deionized water. The tubes were covered with plastic caps. The initial electrical conductivity of the medium (EC1) was measured using an electrical conductivity meter (CM-31P, Kyoto Electronics, Kyoto, Japan). The samples were autoclaved afterwards at 121°C for 20 mins to completely deactivate the tissues and release all electrolytes. Samples were then cooled to 25°C, and the final electrical conductivity (EC2) was measured. The ELR was calculated as the ratio of the conductivity before autoclaving to the conductivity after autoclaving using the following formula: ELR (%) = (EC1/EC2) × 100.

Proline concentration was determined according to the method of Bates et al. (1973). Fresh leaves (200 mg) were ground in a mortar with liquid nitrogen. The homogenated powder was mixed with 5 ml of 3% sulfosalicylic acid (w/v). After 10 mins of centrifugation at 10,000 *g* at 4°C, 2 ml of supernatant was transferred to a mixture containing 2 ml acetic acid and 2 ml ninhydrin reagent (1.25 g ninhydrin in 30 ml of acetic acid and 10 ml 12 M phosphoric acid) and incubated at 100°C for 1 hr. The reaction was terminated by placing the container of the mixture in an ice bath. The reaction mixture was vigorously mixed with 4 ml toluene. After warming at 25°C, the chromophore was determined at 520 nm in a UV-spectrophotometer (UV-1850, Hitachi, Japan). L-proline was used as a standard.

2.3 | Determination of Na^+ and K^+ concentrations

The concentrations of Na^+ and K^+ were determined by extracting 10 mg dry matter in 10 ml of 1 N HCl with shaking for 1 day. The extracts of the third leaves from the top of the plants, sheaths and roots were determined by a flame spectrophotometer (ANA-135; Tokyo Photoelectric, Tokyo, Japan). Ion concentrations in each sample were estimated using the Na^+ and K^+ standard curves. Na^+ distribution was calculated as the ratio of Na^+ accumulated in each tissue to that in a whole seedling.

2.4 | Expression analysis of the genes encoding Na^+ transport proteins

Total RNA was extracted from the leaves, leaf sheaths and roots of the control and the salinity stressed Ouukan383 and Kanniho cultivars using a TRIzol reagent. After digestion with DNaseI, total RNA (1 μg) was reverse-transcribed to cDNA using a ReverTra Ace qPCR RT kit, according to the manufacturer's protocol (Toyobo, Osaka, Japan). Quantitative polymerase chain reaction was performed using a THUNDERBIRD SYBR qPCR Mix and an ABI StepOne System (Applied Biosystems, CA) as previously described (Ueda et al., 2013). The reaction mixture contained 10 μl of THUNDERBIRD SYBR qPCR Mix, 0.4 μl of 50 × ROX reference dye, 2 μl of forward primer, 2 μl of reverse primer, 1 μl of cDNA and 4.6 μl of sterile water. Quantitative RT-PCR was performed using the following profile: an initial incubation at 95°C for 1 min, followed by 40 cycles of denaturation at 95°C for 15 s and extension at 60°C for 60 s. Relative expression level of the gene transcripts was calculated with the comparative $2^{-\Delta\Delta CT}$ method (Livak & Schmittgen, 2001) using the *Os25SrRNA* gene as an internal control (Jain, Nijhawan, Tyagi, & Khurana, 2006). Data showed the average of two technical replicates using RNA extracted from the tissues pooled using four seedlings. The sequences of the primers used are listed in Table 1.

3 | RESULTS

3.1 | Screening for salinity tolerance at seedling stage

In this study, we screened salinity-tolerant rice cultivars using the different screening index such as growth performance, ion accumulation, water content, electrolyte leakage ratio and proline

TABLE 1 Primers used for quantitative real-time RT-PCR

Gene	Forward primer (5′-3′)	Reverse primer (5′-3′)	Reference
OsHKT1;4	GTCGAAGTTGTCAGTGCATATGG	TGAGCCTCCCAAAGAACATCAC	Suzuki et al. (2016)
OsHKT1;5	TGCATTCATCACTGAGAGGAG	GGTGCAGTTTCTGCAACCTC	Ueda et al. (2013)
OsSOS1	ATACTGAGTGGGGTTGTTATTGC	AAAGGTAAATTTCAAAAGGTACATGG	Mekawy et al. (2015)
OsNHX1	AATGATCACCAGCACCATCA	AAGGCTCAGAGGTGACAGGA	Mekawy et al. (2015)
Os25SrRNA	AAGGCCGAAGAGGAGAAAGGT	CGTCCCTTAGGATCGGCTTAC	Jain et al. (2006)

TABLE 2 Salinity tolerance rating of six rice cultivars based on the modified standard evaluation score (SES) of visual salt injury at seedling stage after 12 days of salinity stress

Cultivars	SES	Degree of salinity tolerance
Fukuizumi	6.75 ± 0.25	Sensitive
Midorimai	5.75 ± 0.48	Moderately tolerant
Ouukan383	3.50 ± 0.29	Tolerant
Shitan	6.75 ± 0.48	Sensitive
Kanniho	7.50 ± 0.29	Highly sensitive
FL478	3.50 ± 0.29	Tolerant

Values are the mean of four replicates ± standard error.

accumulation. The standard evaluating system (SES) for rating the visual symptoms of salt toxicity established at IRRI (Gregorio et al., 1997) was used with modifications to discriminate the sensitive cultivars from the tolerant and moderately tolerant cultivars. To evaluate the degree of salinity tolerance in five japonica cultivars, the indica cultivar FL478 was used as a salinity-tolerant check. Salinization started when seedlings were 16 days old and had three to four true leaves. After 3 days in salinized solution (25 mM NaCl), initial signs of salt stress damage were observed in the oldest leaves, which started to desiccate and roll inwards, especially in the highly sensitive cultivar Kanniho. When salinity concentration was increased to 100 mM, signs of salt stress damage also appeared in the sensitive and moderately tolerant cultivars such as Fukuizumi, Shitan and Midorimai. At day three after 100 mM NaCl treatment, most leaves of Kanniho and most other cultivars had died, with only the youngest leaves of some plants remaining green. Scoring was performed on day three after salinization at 100 mM and a total of 12 days of salinization, when four categories of tolerance could be visually distinguished (Table 2). The tolerant check, FL478, showed the lowest SES score (3.50) because these seedlings looked nearly normal. Out of the five japonica cultivars, Ouukan383 showed the lowest score similar to FL478 under salinity stress (Table 2). In both Ouukan383 and FL478, only the oldest leaves were wilted and rolled and younger leaves remained green and healthy under salinity stress. On the other hand, most plants of Kanniho had died, with only the youngest leaves of some plants remaining green. These, therefore, were scored 7.50 (highly sensitive). Midorimai exhibited growth retardation and most of its lower leaves rolled, some oldest leaves dried, and only the two youngest leaves remained green and elongated, and was thus scored 5.75 (moderately tolerant). For Fukuizumi and Shitan, most leaves also dried, most plants stopped growing, and some plants were dying. These were scored 6.75 (sensitive). The difference between the sensitive cultivars, Fukuizumi and Shitan, and the moderately tolerant cultivar, Midorimai, was clearly observed on day 12 after salinization as sensitive cultivars showed severe damages on leaf blades. According to visual symptoms under salinity stress, Ouukan383 and Kanniho were chosen as salinity-tolerant and salinity-sensitive cultivars, respectively.

3.2 | Effects of salinity stress on biomass production

The effects of salinity stress on biomass production of seedlings of six rice cultivars are shown in Figure 1. Salt treatment resulted in severe decreases of shoot and root lengths in Fukuizumi, Midorimai, Shitan and Kanniho, but a slight decrease in FL478 (Figure 1a). There were no significant decreases in shoot and root lengths in Ouukan383 under salinity stress. Compared with the control plants, decreases of dry weight in Midorimai, Fukuizumi, Shitan and Kanniho were more severe than Ouukan383 and FL478 under salinity stress (Figure 1b). Kanniho, in particular, exhibited reduced shoot and root dry weights by 23% and 44%, respectively (Figure 1b). Two tolerant cultivars, Ouukan383 and FL478, showed slight decreases in dry weights of shoots and roots. These observations suggested that Ouukan383 and FL478 are highly salinity tolerant relative to the other four cultivars.

3.3 | Effect of salinity stress on physiological parameters

Rice loses water in the tissues due to osmotic imbalance under high salinity. Therefore, measurement of leaf water content can be one of

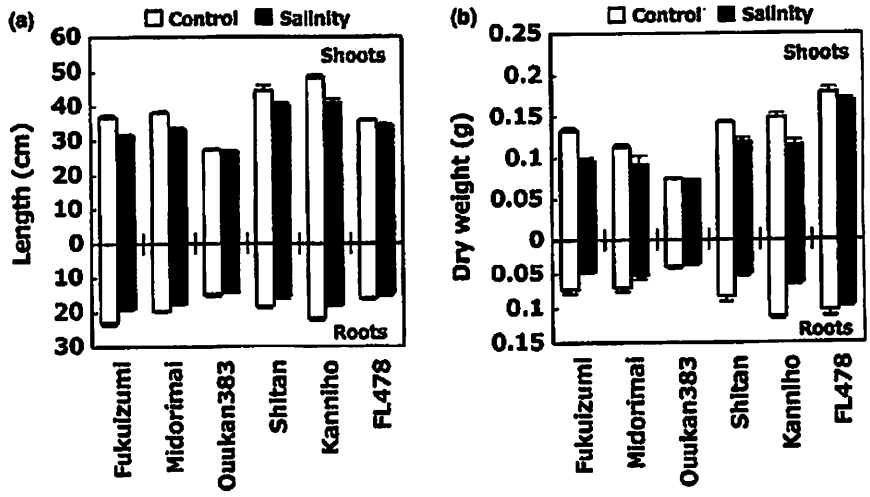

FIGURE 1 Effects of salinity stress on the growth of six rice cultivars. (a) Length and (b) dry weight of shoots and roots were measured under control and 12 days of salinity conditions. Values are means of four replicates ± standard error

the indicators for the screening of salinity-tolerant cultivars. As shown in Figure 2a, salinity stress significantly reduced water content in the leaf blades of the salinity-sensitive cultivars, Kanniho, Shitan, Fukuizumi and Midorimai, but not in the salinity-tolerant cultivars, Ouukan383 and FL478. Membrane integrity was monitored by electrolyte leakage ratio (ELR). Under the control condition, ELR of the leaf tissues of different cultivars ranged from 1.7% to 3.5% (Figure 2b). With salinity treatment, cell membranes in leaves of the most cultivars lost integrity resulting in increase in ELR. The relationship between ELR and salinity tolerance was clearer when comparing ELR of the tissues treated with salinity at 100 mM. Membrane of the sensitive cultivar Fukuizumi tended to be most severely affected by the salinity treatment at 100 mM as shown by the 4.6-fold increase in ELR relative to control seedlings, followed by Shitan and Kanniho showing 3.6- and 3.1-fold increases, respectively. ELR of moderately tolerant and tolerant cultivars was three times lower than that of control seedlings (Figure 2b). Leaves of the tolerant cultivars under non-stressed conditions accumulated relatively lower concentration of free proline (Figure 2c). In response to NaCl treatment, rice leaves accumulated higher concentrations of proline. The cultivar Kanniho accumulated the highest concentration of proline, with Ouukan383 accumulating the lowest. The increase in proline accumulation in Midorimai and FL478 was intermediate, but Ouukan383 showed a slight increase. Overall, higher concentrations of proline were observed in the sensitive cultivars, suggesting that these cultivars suffered from negative impacts of salinity stress.

3.4 | Effects of salinity stress on Na^+ and K^+ accumulation in different tissues

In six cultivars, salinity treatment led to increased Na^+ accumulation in all tissues examined. In the salinized roots, Na^+ concentration was increased in all cultivars (Figure 3a). The tolerant and moderately tolerant cultivars, such as Midorimai, Ouukan383 and FL478, accumulated much more Na^+ in roots than sensitive cultivars. In the leaf sheaths, the highest Na^+ increase was observed in Ouukan383. However, Na^+ concentration in FL478 was the lowest (Figure 3b). Remarkable differences in the Na^+ concentrations of the leaf blades were observed between the tolerant and sensitive cultivars. Ouukan383 and FL478 accumulated Na^+ in the leaf blades reaching 7.0 and 26.2 mg/g DW, respectively. However, four of the sensitive cultivars accumulated Na^+ at the range from 37.7 to 41.9 mg/g DW (Figure 3c). These findings suggest that the Japonica cultivar Ouukan383 has a very effective mechanism for Na^+ exclusion from the leaf blades than FL478, which is a well-known Na^+ excluder from the leaf blades.

Salinity stress significantly decreased the K^+ concentration in the roots of the six cultivars (Figure 4a). K^+ concentration was increased in the leaf sheaths of all cultivars (Figure 4b). Notably, Ouukan383 showed higher K^+ concentration in the leaf blades and it was not affected by salinity stress (Figure 4c). As observed in the leaf blades of the sensitive cultivars, the increase in Na^+ accumulation and decrease in K^+ accumulation resulted in the increase in Na^+/K^+ ratio in response to NaCl and the ratio was negatively related to the degree of salt tolerance (Table 3). Salinity-tolerant cultivars showed lower Na^+/K^+ ratio (0.29 in Ouukan383 and 1.93 in FL478) in the leaf blades under salinity stress, and thus, maintenance of lower Na^+/K^+ ratio is likely one of the key traits for salinity tolerance in rice.

Na distribution in each tissue was estimated by calculating the ratio of Na^+ accumulation in each tissue to that of a whole seedling (Figure 5). The salinity-tolerant Ouukan383 accumulated Na^+ in the sheaths and roots, but restricted Na^+ entry in the leaf blades as only 28% of Na^+ absorbed was accumulated in the leaf blades. On the other hand, the salinity-sensitive Kanniho accumulated 70% of Na^+ absorbed in the leaf blades, indicating that this cultivar does not

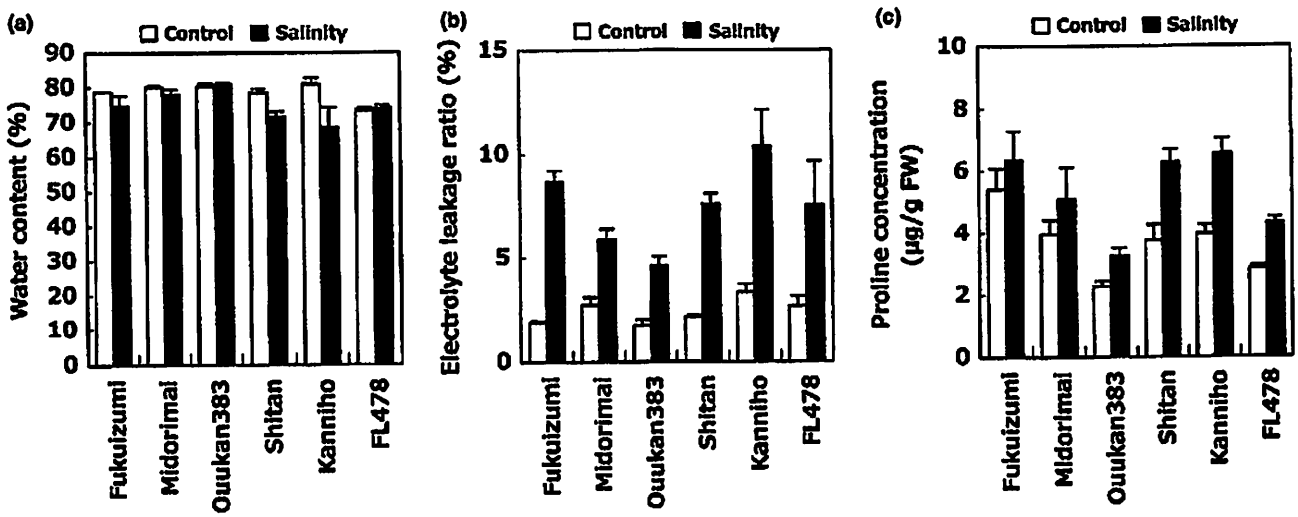

FIGURE 2 Effects of salinity stress on the physiological parameters of six rice cultivars. (a) Water content, (b) electrolyte leakage ratio and (c) proline concentration in the leaf blades were measured under control and 14 days of salinity conditions. Values are means of four replicates ± standard error

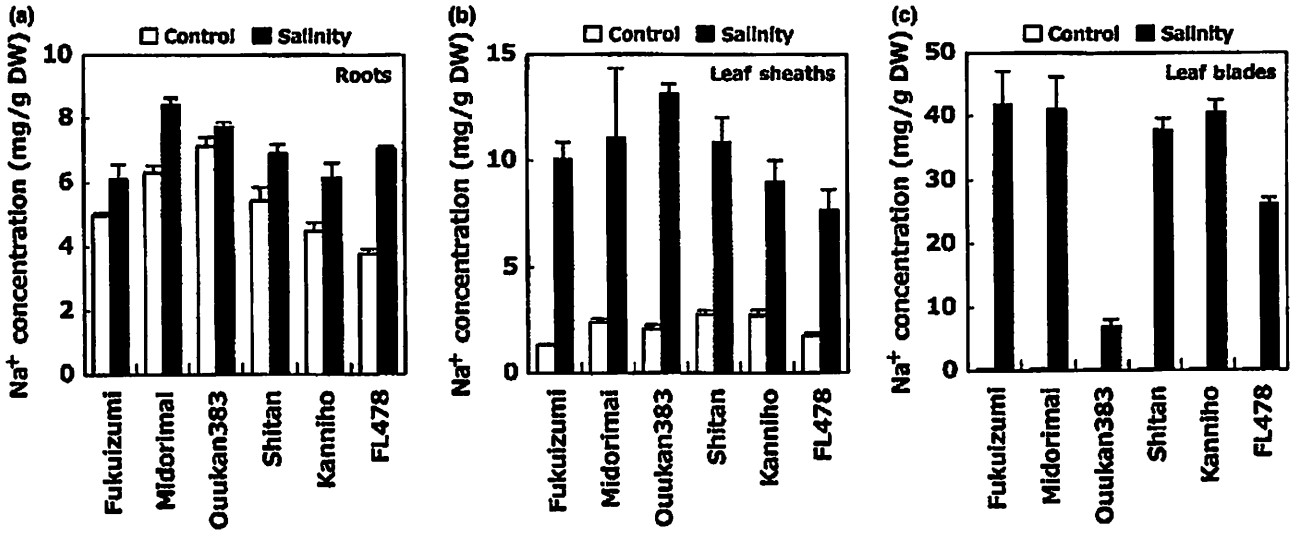

FIGURE 3 Na^+ concentrations in the (a) roots, (b) leaf sheaths and (c) leaf blades under control and salinity conditions. Values are means of four replicates ± standard error

have an effective mechanism of Na^+ exclusion from the leaf blades (Figure 5).

3.5 | Differential expression of the genes encoding Na^+ transport proteins in response to salinity stress

To determine the mechanisms underlying differential Na^+ accumulation in the salinity-tolerant Ouukan383 and the highly salinity-sensitive Kanniho, expression profiles of the genes encoding Na^+ transport proteins were analysed. A Na^+ transporter, OsHKT1;5, participates in the mechanisms of Na^+ exclusion from shoots through retrieving Na^+ from xylem to xylem parenchyma cells in roots (Ren et al., 2005). Therefore, OsHKT1;5 is one of the key regulators restricting Na^+ accumulation in shoots (Assaha, Mekawy, Ueda, & Saneoka, 2015). In this study, quantitative RT-PCR analyses showed

TABLE 3 Na^+/K^+ ratio in the roots, leaf sheaths and leaf blades under salinity stress

Cultivar	Roots	Leaf sheaths	Leaf blades
Fukuizumi	1.05 ± 0.05	1.10 ± 0.07	2.87 ± 0.27
Midorimal	1.72 ± 0.09	0.77 ± 0.13	3.24 ± 0.22
Ouukan383	1.58 ± 0.10	1.06 ± 0.07	0.29 ± 0.06
Shitan	1.73 ± 0.10	1.17 ± 0.05	3.78 ± 0.35
Kanniho	1.53 ± 0.09	0.90 ± 0.05	3.10 ± 0.23
FL478	2.02 ± 0.05	1.14 ± 0.20	1.93 ± 0.12

Values are the mean of four replicates ± standard error.

that salinity stress induced expression of the *OsHKT1;5* gene by 2.0-fold in the roots of Ouukan383 (Figure 6a), which may cause reduced Na^+ accumulation in the leaf blades under salinity stress

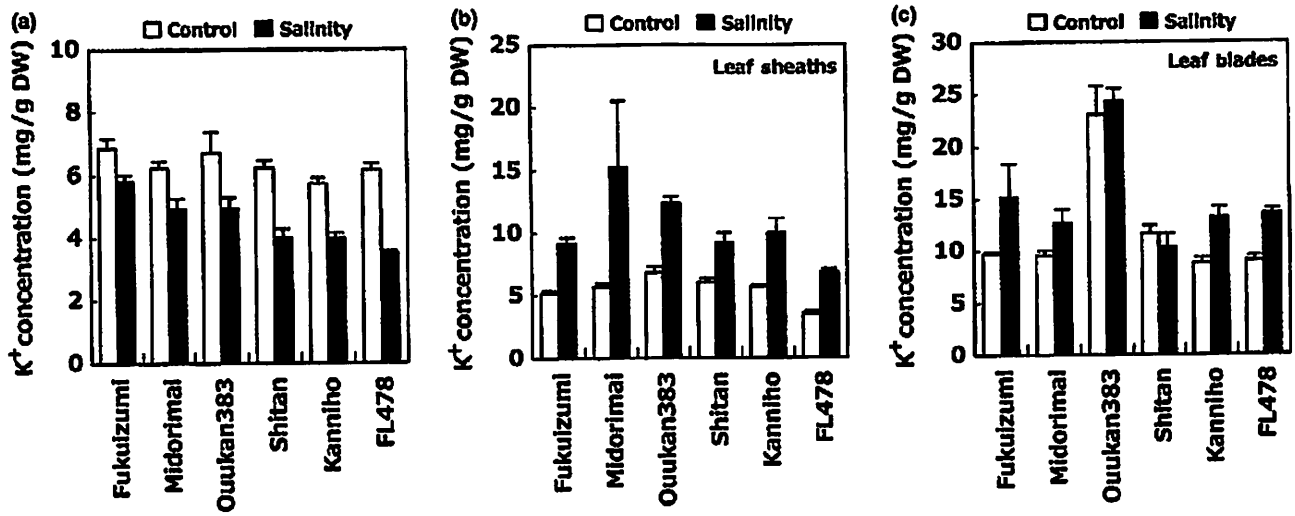

FIGURE 4 K^+ concentrations in the (a) roots, (b) leaf sheaths and (c) leaf blades under control and salinity conditions. Values are means of four replicates ± standard error

(Figure 3c). However, expression of the *OsHKT1;5* gene was not induced in Kanniho under salinity stress (Figure 5a). Another Na^+ transporter, OsHKT1;4, is an alternative candidate for Na^+ exclusion, which is effective in the leaf sheaths, thereby reducing Na^+ accumulation in the leaf blades. Salinity treatment induced expression of the *OsHKT1;4* gene by 4.7-fold in Ouukan383, but it was repressed by 0.1-fold in Kanniho. Thus, Na^+ exclusion mechanisms through the functions of OsHKT1;4 and OsHKT1;5 are active in the salinity-tolerant Ouukan383, but not in the salinity-sensitive Kanniho.

The Na^+/H^+ antiporter (*SOS1*), localized in the plasma membrane, is considered a general regulator of Na^+ export from cytosol (Shi et al., 2002). Our results indicated that there was a higher level of induced expression of the *OsSOS1* gene in the Kanniho roots (2.8-fold) (Figure 6a), which might be responsible for relatively low Na^+ accumulation in its roots under salt stress. However, the *OsSOS1* expression in the Ouukan383 roots was not induced (1.5-fold). Expression of the *OsSOS1* gene in the leaf sheaths was induced in Ouukan383 (3.2-fold), but not in Kanniho (0.9-fold) under salinity stress (Figure 6b). In the leaf blades, induced expression of the *OsSOS1* gene was observed in the Kanniho leaves (5.8-fold) under salinity stress conditions (Figure 6c), which suggests that OsSOS1 mediated Na^+ extrusion from the cytosol may not be active in Ouukan383.

The Na^+/H^+ antiporter plays an important role in tolerance to salt stress by exchanging Na^+ and H^+ across the plasma or vacuolar membranes. The tonoplast Na^+/H^+ antiporter, which was found in several plant species transports Na^+ from the cytoplasm into vacuoles, thereby increasing the cytoplasmic K^+/Na^+ ratio and protecting cells from sodium toxicity (Ballesteros, Blumwald, Donaire, & Belver, 1997; Barkla, Charuk, Cragoe, & Blumwald, 1990; Fukuda, Nakamura, & Tanaka, 1999; Gaxiola et al., 1999). While the high-salinity-induced expression of the *OsNHX1* gene in the leaves of Kanniho (70.5-fold) (Figure 6c) might be responsible for increased Na^+ accumulation in the leaf vacuoles under salt stress (Figure 3a),

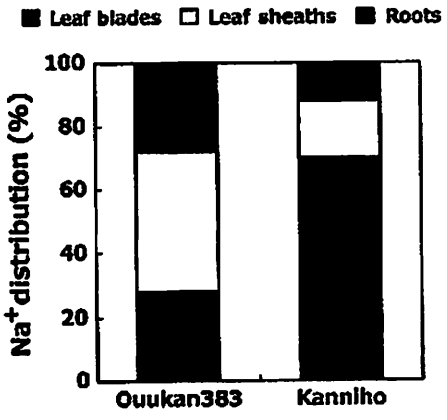

FIGURE 5 Distribution of Na^+ accumulation in the roots, leaf sheaths and leaf blades of the salinity-tolerant Ouukan383 and the salinity-sensitive Kanniho under control and salinity conditions. Na^+ distribution was evaluated by the ratio of the amount of Na^+ in each tissue to that in the whole seedling

the gene expression was not induced in the Ouukan383 leaves (0.7-fold). This difference in the *OsNHX1* induction might be due to higher Na^+ accumulation in the leaves of Kanniho (Figure 3a). Under salinity stress, expression of the *OsNHX1* gene was induced highly in the leaf sheaths of Kanniho (5.4-fold) and slightly in those of Ouukan383 (2.0-fold) (Figure 6b). In the roots, the *OsNHX1* expression was slightly changed in response to salinity stress in Kanniho (1.4-fold), but it was induced in Ouukan383 (5.1-fold) (Figure 6a).

4 | DISCUSSION

In comparison with a salinity-tolerant cultivar FL478, five japonica rice cultivars (Fukuizumi, Midorimai, Ouukan383, Shitan and Kanniho) were used in this study to elucidate their mode of adaptations to salinity stress through physiological and transcriptional analysis. The screening index used in this study would be useful to identify salinity-tolerant varieties by investigating differences in physiological characteristics in rice. The six cultivars showed differential responses to salinity, and Ouukan383 and FL478 appeared to be more tolerant than the other cultivars. These two cultivars exhibited lower Na^+ concentrations in the leaf blades, higher leaf water content and lower electrolyte leakage ratio under salinity stress. Notably, Ouukan383 accumulated much less amount of Na^+ in the leaf blades than FL478, although Na^+ concentration in the leaf sheaths was much higher in Ouukan383 than in FL478. These tolerant cultivars showed to have different mechanisms of Na^+ exclusion from the leaf blades.

Among salinity-tolerant traits in glycophytes, the most significant plant adaptation to salinity is the ability to restrict the transport and accumulation of Na^+ in the leaf blades (Assaha, Mekawy, et al., 2017; Munns & Tester, 2008; Ueda et al., 2013). Thus, rice cultivars such as Ouukan383 and FL478 that exhibited lower Na^+ concentration in the leaf blades would be better adapted to salinity stress (Figure 3c). This restricted transport of Na^+ to the leaf blades is often accompanied by a reduced Na^+/K^+ ratio, which is relevant for the sustainability of normal metabolic functions (Tester & Davenport, 2003). To understand the mechanisms underlying limited Na^+ transport to the leaf blades in Ouukan383, we analysed the expression of the *OsHKT* genes (Figure 6a). One of the well-characterized HKTs is OsHKT1;5, a Na^+ transporter, which functions in Na^+ retrieval from xylem to xylem parenchyma cells. Thus, active contribution of Na^+ retrieval by OsHKT1;5 in roots results in reduced Na^+ accumulation in the aerial parts of rice seedlings (Ren et al., 2005). FL478, a salinity-tolerant rice cultivar, is known to operate Na^+ exclusion mechanisms governed by OsHKT1;5 in the roots, which is pivotal to reduced Na^+ concentration in the leaf blades than other sensitive cultivars (Figure 3c). To assess whether the salinity-tolerant Ouukan383 has the same mechanism, quantitative RT-PCR analysis was conducted to study differences in the expression of the *OsHKT1;5* gene. Under salinity stress conditions, the expression of the *OsHKT1;5* gene was induced in the roots of Ouukan383, but was repressed in the roots of Kanniho. This finding indicates that

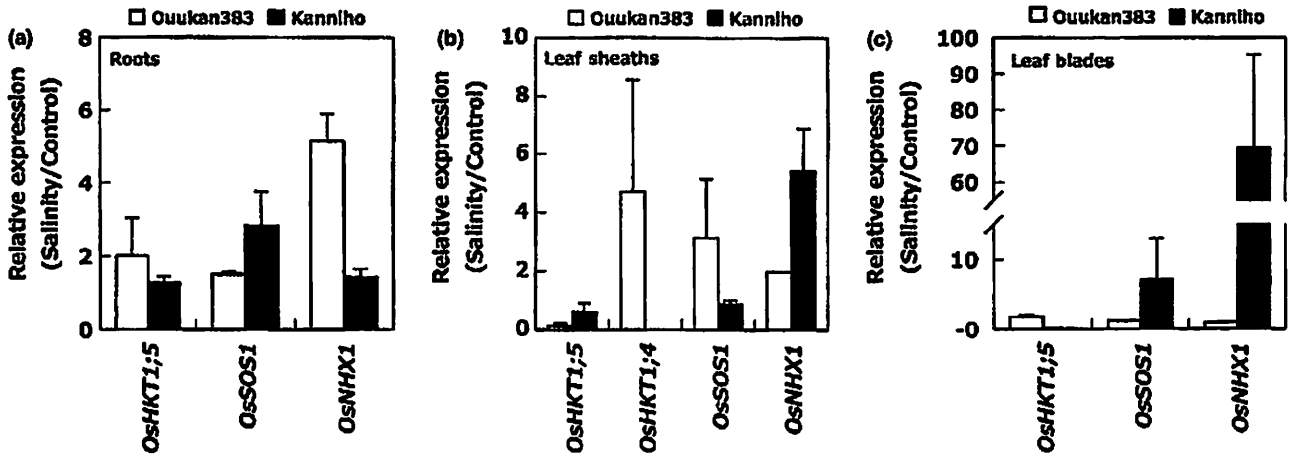

FIGURE 6 Relative expression of the genes encoding Na^+ transport proteins under control and salinity conditions. Expression of the *OsHKT1;5*, *OsHKT1;4*, *OsSOS1* and *OsNHX1* genes was examined using a quantitative RT-PCR in the (a) roots, (b) leaf sheaths and (c) leaf blades of the salinity-tolerant Ouukan383 and the salinity-sensitive Kanniho. Values are means of two independent experiments ± standard deviation

Ouukan383 may have better ability to restrict Na^+ accumulation by OsHKT1;5 in the leaf sheaths and roots than Kanniho. Although Ouukan383 showed the highest degree of salinity tolerance and the lowest Na^+ concentration in the leaf blades among the cultivars tested, this cultivar accumulated higher concentration of Na^+ in the leaf sheaths (Figure 3b). Relevance of the alternative mechanism in the restriction of Na^+ transport in the leaf blades was also assessed in both Ouukan383 and Kanniho by studying the expression of the *OsHKT1;4* gene, whose gene product participates in Na^+ retrieval from xylem in the leaf sheaths (Cotsaftis, Plett, Shirley, Tester, & Hrmova, 2012). The results demonstrated that expression of the *OsHKT1;4* gene was markedly induced by salinity stress in the leaf sheaths of Ouukan383, but it was repressed in those of Kanniho (Figure 6b). Thus, genetic variations underlying japonica cultivars may affect expression of the *OsHKT1;4* gene. Salinity-tolerant Ouukan383 has much effective mechanisms to retrieve Na^+ in the leaf sheaths through the function of OsHKT1;4, which results in higher Na^+ accumulation in the leaf sheaths, but lower Na^+ accumulation in the leaf blades.

Differential expressions of the *OsNHX1* and *OsSOS1* genes were observed in Ouukan383 and Kanniho under salinity stress (Figure 6). Proton-coupled Na^+ transport system plays key roles in salinity tolerance of higher plants (Assaha, Ueda, Saneoka, Al-Yahyai, & Yaish, 2017). SOS-type Na^+/H^+ antiporters, localized in the plasma membranes, facilitate Na^+ export to the outside of cells, and NHX-type Na^+/H^+ antiporters, localized in the tonoplasts, compartmentalize Na^+ into vacuoles (Fukuda et al., 2004; Shi et al., 2002). Ouukan383 induced expression of the *OsNHX1* gene in the roots and leaf sheaths in response to salinity stress. This cultivar accumulated relatively higher concentration of Na^+ in the roots and leaf sheaths. Probably, salinity-tolerant behaviours in Ouukan383 have been achieved through the function of OsNHX1, which is responsible for compartmentalization of Na^+ into vacuoles (Fukuda et al., 2004). The bifunctional roles of SOS-type Na^+/H^+ antiporters in the roots are proposed as the Na^+ excluder from cytosol to apoplast and gate of Na^+ loading into xylem (Assaha, Ueda, et al., 2017). These functions likely work in reducing Na^+ concentration in the roots and increasing Na^+ concentration in the shoots as Kanniho accumulated lesser amount of Na^+ in the roots, but greater amount of Na^+ in the leaf blades. Because Kanniho does not have Na^+ retrieval mechanisms through OsHKT1;5 and OsHKT1;4 in the roots and leaf sheaths, too much Na^+ absorbed in the roots under salinity conditions was transported to the leaf blades. Induced expression of the *OsSOS1* gene was also found in the leaf sheaths of Ouukan383 under salinity stress (Figure 6b). Because Na^+ concentration was not very high in the leaf blades of Ouukan383, OsSOS1 may work in Na^+ exclusion from the cells in the leaf sheaths rather than Na^+ loading into xylem. It appeared reasonable that Kanniho induced high expression of both the *OsSOS1* and *OsNHX1* genes in the leaf blades to export Na^+ outside of the cells and compartmentalize Na^+ into vacuoles because Na^+ concentration in Kanniho reached more than 40 mg/gDW, which is 5.8 times higher than that in Ouukan383. Functions of OsSOS1 and OsNHX1 proteins are recognized as key determinants of salinity tolerance in higher plants (Assaha, Ueda, et al., 2017). Nevertheless, growth of Kanniho was retarded under salinity stress (Figure 1). One possible explanation is that the ability of Na^+ compartmentalization into vacuoles is restricted by the storage capacity of vacuoles. Therefore, transcriptional activation of the *OsNHX1* gene does not effectively contribute to avoid cellular Na^+ toxicity once excess Na^+ is accumulated in the cells of leaf blades of Kanniho. These implied that Na^+ exclusion mechanisms from the leaf blades governed by OsHKT1;4 and/or OsHKT1;5 are superior to mechanisms of Na^+ extrusion by OsSOS1 and Na^+ compartmentalization into vacuoles by OsNHX1 in salinity tolerance of rice.

The other favourable trait of salinity tolerance observed in Ouukan383 was the maintenance of higher K^+ concentration in the leaf blades under both control and salinity conditions. Maintenance of higher K^+ concentrations, and thus lower Na^+/K^+ ratio in the tissues,

is detrimental in salinity tolerance of glycophytes because accumulation of Na^+ in the cytosol disrupts K^+-dependent biochemical reactions that are essential for plant growth. The mechanisms of maintenance of higher K^+ concentrations have not yet been clearly established, although this may be the other factor for the salinity tolerance of Ouukan383. Salinity-tolerant cultivars showed better physiological status under salinity stress (Mekawy et al., 2015; Ueda et al., 2013). Previously, Lutts, Kinet, and Bouharmont (1996) found that electrolyte leakage ratio increased with increasing NaCl concentrations in the medium, and this ratio was higher in the salinity-sensitive cultivars. Because alteration in membrane permeability is one of the first symptoms of salinity-induced senescence, this assay is useful for screening of salinity-tolerant rice cultivars (Theerakulpisut, Bunnag, & Kong-ngern, 2005). Our results also showed that the sensitive cultivar Kanniho had the highest ratio of electrolyte leakage, suggesting that this cultivar suffered from increased membrane damages under salinity stress. Proline has been widely considered to be a compatible solute that accumulates in plants in response to a wide variety of environmental stresses and confers stress tolerance by contributing to osmoregulation and protecting proteins and membranes in conditions of low water potential (Ueda, Shi, Shimada, Miyake, & Takabe, 2008; Ueda, Yamamoto-Yamane, & Takabe, 2007). For example, overproduction of proline with the *P5CS* (Δ-pyrroline-5-carboxylate synthetase) gene enhanced root biomass and flower development under salinity stress in tobacco (Kishor, Hong, Miao, Hu, & Verma, 1995) and rice (Zhu et al., 1998). In our study, the sensitive cultivars accumulated much higher concentrations of proline than the tolerant cultivars under salinity stress. Thus, the negative relationship between proline and salinity tolerance was observed among the six rice cultivars (R^2 = .92 for proline concentration vs SES scores). On the other hand, proline accumulation and Na^+ concentration in the leaf blades showed positive correlation under salinity stress (R^2 = 0.80 for proline concentration vs Na^+ concentration in the leaf blades). Because salinity-tolerant cultivars accumulated lower concentrations of Na^+ in the leaf blades through Na^+ exclusion mechanisms by OsHKTs, they did not accumulate proline at higher concentrations. This implies that proline accumulation in rice may be stimulated by Na^+ accumulation, but not by osmotic stress under salinity stress. These findings indicate that proline accumulation may not be suitable for screening of salinity-tolerant cultivars that have Na^+ exclusion mechanisms from the leaf blades.

5 | CONCLUSION

In the present study, we demonstrated for the first time that the japonica cultivar Ouukan383 is a salinity-tolerant cultivar comparable to the tolerant indica cultivar FL478. Some of salinity-tolerant indica cultivar including FL478 use OsHKT1;5 to restrict Na^+ accumulation in shoots (Platten et al., 2013). On the other hand, Ouukan383 accumulated lesser amount of Na^+ in the leaf blades than FL478, suggesting that this cultivar may have different mechanisms of Na^+ exclusion from the leaf blades. Further investigation on Na^+ exclusion mechanisms through the function of OsHKT1;4 would be helpful for pyramiding the genetic traits to improve salinity tolerance in rice.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by the grant from the Capacity Building of Kasetsart University Students on Internationalization Program and Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Thailand, and JSPS KAKENHI Grant Numbers JP15KK0283 and JP16K07643.

ORCID

A. Ueda http://orcid.org/0000-0002-9059-4927

REFERENCES

Almeida, D. M., Gregorio, G. B., Oliveira, M. M., & Saibo, N. J. (2017). Five novel transcription factors as potential regulators of OsNHX1 gene expression in a salt tolerant rice genotype. *Plant Molecular Biology, 93*, 61–77. https://doi.org/10.1007/s11103-016-0547-7

Assaha, D. V. M., Mekawy, A. M. M., Liu, L., Noori, M. S., Kokulan, K. S., Ueda, A., … Saneoka, H. (2017). Na^+ retention in the root is a key adaptive mechanism to low and high salinity in the glycophyte, *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn. (Portulacaceae). *Journal of Agronomy and Crop Science, 203*, 56–67. https://doi.org/10.1111/jac.12184

Assaha, D. V., Mekawy, A. M., Ueda, A., & Saneoka, H. (2015). Salinity-induced expression of HKT may be crucial for Na^+ exclusion in the leaf blade of huckleberry (*Solanum scabrum* Mill.), but not of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Biochemical and Biophysical Research Communications, 460*, 416–421. https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2015.03.048

Assaha, D. V., Ueda, A., Saneoka, H., Al-Yahyai, R., & Yaish, M. W. (2017). The role of Na^+ and K^+ transporters in salt stress adaptation in glycophytes. *Frontiers in Physiology, 8*, 1–19.

Ballesteros, E., Blumwald, E., Donaire, J. P., & Belver, A. (1997). Na^+/H^+ antiport activity on tonoplast vesicles isolated from sunflower induced by NaCl stress. *Physiologia Plantarum, 99*, 328–334. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb05420.x

Barkla, B. J., Charuk, J. H., Cragoe, E. J., & Blumwald, E. (1990). Photolabeling of tonoplast from sugar beet cell suspensions by [^{3}H]5-(N-methyl-N-isobutyl)-amiloride, an inhibitor of the vacuolar Na^+/H^+ antiport. *Plant Physiology, 93*, 924–930. https://doi.org/10.1104/pp.93.3.924

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil, 39*, 205–207.

Blumwald, E. (2000). Sodium transport and salt tolerance in plants. *Current Opinion in Cell Biology, 12*, 431–434. https://doi.org/10.1016/S0955-0674(00)00112-5

Boyer, J. S. (1982). Plant productivity and environment. *Science, 218*, 443–448. https://doi.org/10.1126/science.218.4571.443

Byrt, C. S., Zhao, M., Kourghi, M., Bose, J., Henderson, S. W., Qiu, J., … Tyerman, S. (2017). Non-selective cation channel activity of aquaporin AtPIP2;1 regulated by Ca^{2+} and pH. *Plant, Cell and Environment, 40*, 802–815. https://doi.org/10.1111/pce.12832

Cotsaftis, O., Plett, D., Shirley, N., Tester, M., & Hrmova, M. (2012). A two-staged model of Na^+ exclusion in rice explained by 3D modeling of HKT transporters and alternative splicing. *PLoS ONE, 7*, e39865. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039865

Flowers, T. J., Garcia, A., Koyama, M., & Yeo, A. R. (1997). Breeding for salt tolerance in crop plants. The role of molecular biology. *Acta*

Physiologiae Plantarum, *19*, 427–433. https://doi.org/10.1007/s11738-997-0039-0

Fukuda, A., Nakamura, A., Tagiri, A., Tanaka, H., Miyao, A., Hirochika, H., & Tanaka, Y. (2004). Function, intracellular localization and the importance in salt tolerance of a vacuolar Na^+/H^+ antiporter from rice. *Plant and Cell Physiology*, *45*, 146–159. https://doi.org/10.1093/pcp/pch014

Fukuda, A., Nakamura, A., & Tanaka, Y. (1999). Molecular cloning and expression of the Na^+/H^+ exchanger gene in *Oryza sativa*. *Biochimica et Biophysica Acta*, *1446*, 149–155. https://doi.org/10.1016/S0167-4781(99)00065-2

Gaxiola, R. A., Rao, R., Sherman, A., Grisafi, P., Alper, S. L., & Fink, G. R. (1999). The *Arabidopsis thaliana* proton transporters, AtNhx1 and Avp1, can function in cation detoxification in yeast. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *96*, 1480–1485. https://doi.org/10.1073/pnas.96.4.1480

Glenn, E. P., Brown, J. J., & Blumwald, E. (1999). Salt tolerance and crop potential of halophytes. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *18*, 227–255. https://doi.org/10.1016/S0735-2689(99)00388-3

Gregorio, G. B., Senathira, D., & Mendaza, R. D. (1997). *Screening rice for salinity tolerance*. IRRI Discussion Paper Series 22.

Heenan, D. P., Lewin, L. G., & McCatery, D. W. (1988). Salinity tolerance in rice varieties at different growth stage. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, *28*, 343–349. https://doi.org/10.1071/EA9880343

Horie, T., Hauser, F., & Schroeder, J. I. (2009). HKT transporter-mediated salinity resistance mechanisms in Arabidopsis and monocot crop plants. *Trends in Plant Science*, *14*, 660–668. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.08.009

Inada, M., Ueda, A., Shi, W., & Takabe, T. (2005). A stress-inducible plasma membrane protein 3 (AcPMP3) in a monocotyledonous halophyte, *Aneurolepidium chinense*, regulates cellular Na^+ and K^+ accumulation under salt stress. *Planta*, *220*, 395–402. https://doi.org/10.1007/s00425-004-1358-7

Jain, M., Nijhawan, A., Tyagi, A. K., & Khurana, J. P. (2006). Validation of housekeeping genes as internal control for studying gene expression in rice by quantitative real-time PCR. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, *345*, 646–651. https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2006.04.140

Kishor, P., Hong, Z., Miao, G. H., Hu, C., & Verma, D. (1995). Overexpression of Δ-pyrroline-5-carboxylate synthetase increases proline production and confers osmotolerance in transgenic plants. *Plant Physiology*, *108*, 1387–1394. https://doi.org/10.1104/pp.108.4.1387

Lan, W. Z., Wang, W., Wang, S. M., Li, L. G., Buchanan, B. B., Lin, H. X., … Luan, S. (2010). A rice high-affinity potassium transporter (HKT) conceals a calcium-permeable cation channel. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*, 7089–7094. https://doi.org/10.1073/pnas.1000698107

Lee, K. S., Choi, W. Y., Ko, J. C., Kim, T. S., & Gregorio, G. B. (2003). Salinity tolerance of japonica and indica rice (*Oryza sativa* L.) at the seedling stage. *Planta*, *216*, 1043–1046. https://doi.org/10.1007/s00425-002-0958-3

Livak, K. J., & Schmittgen, T. D. (2001). Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta CT}$ method. *Methods*, *25*, 402–408. https://doi.org/10.1006/meth.2001.1262

Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, *78*, 389–398. https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134

Martinez-Atienza, J., Jiang, X., Garciadeblas, B., Mendoza, I., Zhu, J. K., Pardo, J. M., & Quintero, F. J. (2007). Conservation of the salt overly sensitive pathway in rice. *Plant Physiology*, *143*, 1001–1012.

Mekawy, A. M., Assaha, D. V., Yahagi, H., Tada, Y., Ueda, A., & Saneoka, H. (2015). Growth, physiological adaptation, and gene expression analysis of two Egyptian rice cultivars under salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, *87*, 17–25. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.12.007

Munns, R., & Termaat, A. (1986). Whole plant responses to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*, *13*, 143–160. https://doi.org/10.1071/PP9860143

Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, *59*, 651–681. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

Noble, C. L., & Rogers, M. E. (1992). Arguments for the use of physiological criteria for improving the salt tolerance in crops. *Plant and Soil*, *146*, 99–107. https://doi.org/10.1007/BF00012001

Nylander, M., Heino, P., Helenius, E., Palva, E. T., Ronne, H., & Welin, B. V. (2001). The low-temperature- and salt-induced *RCI2A* gene of Arabidopsis complements the sodium sensitivity caused by a deletion of the homologous yeast gene SNA1. *Plant Molecular Biology*, *45*, 341–352. https://doi.org/10.1023/A:1006451914231

Pardo, J. M., Cubero, B., Leidi, E. O., & Quintero, F. J. (2006). Alkali cation exchangers: Roles in cellular homeostasis and stress tolerance. *Journal of Experimental Botany*, *57*, 1181–1199. https://doi.org/10.1093/jxb/erj114

Platten, J. D., Egdane, J. A., & Ismail, A. M. (2013). Salinity tolerance, Na^+ exclusion and allele mining of *HKT1;5* in *Oryza sativa* and *O. glaberrima*: Many sources, many genes, one mechanism? *BMC Plant Biology*, *13*, 32. https://doi.org/10.1186/1471-2229-13-32

Ren, Z. H., Gao, J. P., Li, L. G., Cai, X. L., Huang, W., Chao, D. Y., … Lin, H. X. (2005). A rice quantitative trait locus for salt tolerance encodes a sodium transporter. *Nature Genetics*, *37*, 1141–1146. https://doi.org/10.1038/ng1643

Roberts, S. K., & Tester, M. (1997). A patch clamp study of Na^+ transport in maize roots. *Journal of Experimental Botany*, *48*, 431–440.

Schachtman, D. P., & Schroeder, J. I. (1994). Structure and transport mechanism of a high-affinity potassium uptake transporter from higher plants. *Nature*, *370*, 655–658. https://doi.org/10.1038/370655a0

Shi, H., Quintero, F. J., Pardo, J. M., & Zhu, J. K. (2002). The putative plasma membrane Na^+/H^+ antiporter SOS1 controls long-distance Na^+ transport in plants. *Plant Cell*, *14*, 465–477. https://doi.org/10.1105/tpc.010371

Suzuki, K., Yamaji, N., Costa, A., Okuma, E., Kobayashi, N. I., Kashiwagi, T., … Horie, T. (2016). OsHKT1;4-mediated Na^+ transport in stems contributes to Na^+ exclusion from leaf blades of rice at the reproductive growth stage upon salt stress. *BMC Plant Biology*, *16*, 22. https://doi.org/10.1186/s12870-016-0709-4

Tester, M., & Davenport, R. (2003). Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. *Annals of Botany*, *91*, 503–527. https://doi.org/10.1093/aob/mcg058

Theerakulpisut, P., Bunnag, S., & Kong-ngern, K. (2005). Genetic diversity, salinity tolerance and physiological responses to NaCl of six rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Asian Journal of Plant Science*, *4*, 562–573.

Ueda, A., Kanechi, M., Uno, Y., & Inagaki, N. (2003). Photosynthetic limitations of a halophyte sea aster (*Aster tripolium* L.) under water stress and NaCl stress. *Journal of Plant Research*, *116*, 65–70.

Ueda, A., Shi, W., Shimada, T., Miyake, H., & Takabe, T. (2008). Altered expression of barley proline transporter causes different growth responses in Arabidopsis. *Planta*, *227*, 277–286.

Ueda, A., Yahagi, H., Fujikawa, Y., Nagaoka, T., Esaka, M., Calcaño, M., … Saneoka, H. (2013). Comparative physiological analysis of salinity tolerance in rice. *Soil Science and Plant Nutrition*, *59*, 896–903. https://doi.org/10.1080/00380768.2013.842883

Ueda, A., Yamamoto-Yamane, Y., & Takabe, T. (2007). Salt stress enhances proline utilization in the apical region of barley roots. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, *355*, 61–66. https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2007.01.098

Venema, K., Quintero, F. J., Pardo, J. M., & Donaire, J. P. (2002). The arabidopsis Na^+/H^+ exchanger AtNHX1 catalyzes low affinity Na^+ and

K^+ transport in reconstituted liposomes. *Journal of Biological Chemistry, 277*, 2413–2418. https://doi.org/10.1074/jbc.M105043200

Walia, H., Wilson, C., Condamine, P., Liu, X., Ismail, A. M., Zeng, L., … Close, T. J. (2005). Comparative transcriptional profiling of two contrasting rice genotypes under salinity stress during the vegetative growth stage. *Plant Physiology, 139*, 822–835. https://doi.org/10.1104/pp.105.065961

Yao, X., Horie, T., Xue, S., Leung, H. Y., Katsuhara, M., Brodsky, D. E., … Schroeder, J. I. (2010). Differential sodium and potassium transport selectivities of the rice OsHKT2;1 and OsHKT2;2 transporters in plant cells. *Plant Physiology, 152*, 341–355. https://doi.org/10.1104/pp.109.145722

Yeo, A. R., & Flowers, T. J. (1986). Salinity resistance in rice (*Oryza sativa* L.) and a pyramiding approach to breeding varieties for saline soils. *Australian Journal of Plant Physiology, 13*, 161–173. https://doi.org/10.1071/PP9860161

Yeo, A. R., Yeo, M. E., Flowers, S. A., & Flowers, T. J. (1990). Screening of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes for physiological characters contributing to salinity resistance, and their relationship to overall performance. *Theoretical and Applied Genetics., 79*, 377–384. https://doi.org/10.1007/BF01186082

Zhang, W. D., Wang, P., Bao, Z., Ma, Q., Duan, L. J., Bao, A. K., … Wang, S. M. (2017). SOS1, HKT1;5, and NHX1 synergistically modulate Na^+ homeostasis in the halophytic grass *Puccinellia tenuiflora*. *Frontiers in Plant Science, 8*, 576.

Zhu, J. K. (2002). Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual Review of Plant Biology, 53*, 247–273. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.091401.143329

Zhu, B., Su, J., Chang, M. C., Verma, D. P. S., Fan, Y. L., & Wu, R. (1998). Overexpression of a pyrroline-5-carboxylate synthetase gene and analysis of tolerance to water and salt stress in transgenic rice. *Plant Science, 139*, 41–48. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(98)00175-7

How to cite this article: Wangsawang T, Chuamnakthong S, Kohnishi E, Sripichitt P, Sreewongchai T, Ueda A. A salinity-tolerant japonica cultivar has Na^+ exclusion mechanism at leaf sheaths through the function of a Na^+ transporter OsHKT1;4 under salinity stress. *J Agro Crop Sci*. 2018;204:274–284. https://doi.org/10.1111/jac.12264